



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

IVO DE MATOS BEZERRA

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO EM UM
RESERVATÓRIO NO ESTADO DO CEARÁ**

CRATEÚS

2021

IVO DE MATOS BEZERRA

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO EM UM
RESERVATÓRIO NO ESTADO DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, como requisito parcial à obtenção do título do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Me. Janine Brandão de Farias Mesquita.

CRATEÚS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- B469a Bezerra, Ivo de Matos.
Avaliação de métodos para estimativa da evaporação em um reservatório no estado do Ceará. / Ivo de Matos Bezerra. – 2021.
70 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental, Crateús, 2021.
Orientação: Profa. Ma. Janine Brandão de Farias Mesquita.
1. climatologia. 2. tanque classe A. 3. coeficientes de correção. I. Título.

CDD 628

IVO DE MATOS BEZERRA

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO EM UM
RESERVATÓRIO NO ESTADO DO CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús, como requisito parcial à obtenção do título do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: 17/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Me. Janine Brandão de Farias Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alan Michel Barros Alexandre
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Me. Tatiane Lima Batista
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Samiria Maria Oliveira da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC/DEHA)

A Deus.

Aos meus pais, familiares, amigos e a
educação pública.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por está ao meu lado me mostrando o caminho certo a seguir. Agradeço imensamente aos meus pais Maria Eliane Gomes de Matos e Irineu Bezerra de Souza Junior, por me proporcionarem a possibilidade de estudar tranquilamente. Aos meus familiares e amigos, em especial minha tia Célia Matos por sempre me incentivar a cursar o ensino superior.

A Escola de Cidadania Antonio Anísio da Frota- CAIC na qual pude ter o primeiro contato com a educação, obrigado a todos os professores e gestores de minha época, vocês são gigantes. Sou grato pela oportunidade de cursar o ensino médio na Escola Estadual de Educação Profissional Manoel Mano, isso foi um divisor de águas em minha vida, agradeço aos meus amigos (Alefe, Heliana, Larysse, Milena, Gabriela e Luiza) e a todos os professores que estiveram envolvimento na minha formação.

A Universidade Federal do Ceará por todo o preparo dos servidores em geral. Amigos, gratidão por estarem sempre ao meu lado nos momentos mais felizes e difíceis durante esses 5 anos de jornada (Gabriela, Leyanne, Sigrid, Fabrinny, Isabel, Jenilson, Luan, Karol, Felipe, Neto). A todos os meus professores que por inúmeras vezes depositaram confiança em mim, em especial minha orientadora Janine Brandão de Farias Mesquita, grato por toda paciência nesse período.

Agradeço, as minhas orientadoras de bolsas (Lílian Carneiro e Luisa Gardênia), gratidão por acreditarem na credibilidade dos meus trabalhos. Obrigado a banca avaliadora por todas as sugestões de melhoria para minha pesquisa.

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade: só tem valor quando acaba.

Guimarães Rosa.”

RESUMO

O acúmulo de água em reservatórios artificiais brasileiros é essencial para garantia do bem-estar social e um amplo desenvolvimento, inclusive na esfera econômica. Estudos que possibilitam estimativas de evaporação nessas estruturas são de relevante importância para o planejamento de políticas de gestão e gerenciamento dos recursos hídricos. Assim, o objetivo do presente trabalho é avaliar estimativas da evaporação de água em um reservatório no estado do Ceará, utilizando diferentes métodos e compará-los entre si. A área utilizada como para estudo foi o reservatório Santo Anastácio, também conhecido como Açude da Agronomia, localizado na cidade de Fortaleza – CE. No desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados climatológicos da estação meteorológica do Pici-UFC. Os parâmetros utilizados foram: precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade e insolação total, e evaporação do tanque Classe A, obtidos de em forma de séries diária de dados, entre 2007 a 2019. Com a análise dos dados foi possível se realizar: a caracterização meteorológica da área de estudo, as estimativas de evaporação através dos métodos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler *et al.*, (1955), Thornthwaite (1948), a quantificação da evaporação no tanque Classe A (ECA), a comparação entre os modelos, além do cálculo de coeficientes de correção (mensais, sazonais e anuais) para o tanque. Os resultados mostraram valores de evaporação acumulados nos 13 anos variando entre 1602,52 mm e 3657,95 mm, e valores de coeficientes de correção mensais genéricos entre 0,61 a 1,59; sazonais chuvoso de 0,79 a 1,64 e seco 0,58 a 1,11; e anuais oscilando entre 0,74 a 1,54. Com o desenvolvimento da pesquisa, constatou-se que se deve testar outros métodos de estimativa da evaporação, que abranjam outros fatores locais, tornando, dessa forma, a análise mais representativa para a realidade da região.

Palavras-chave: climatologia; tanque classe A; coeficientes de correção.

ABSTRACT

The accumulation of water in Brazilian artificial reservoirs is essential to guarantee social well-being and broad development, including in the economic sphere. Studies that allow estimates of evaporation in these structures are of relevant importance for the planning of management policies and management of water resources. Thus, the objective of the present work is to evaluate estimates of water evaporation in a reservoir in the state of Ceará, using different methods and to compare them with each other. The area used as a study was the Santo Anastácio reservoir, also known as Açude da Agronomia, located in the city of Fortaleza - CE. In the development of the work, climatological data from the Pici-UFC meteorological station were used. The parameters used were: precipitation, air temperature, wind speed, humidity and total insolation, and evaporation from the Class A tank, obtained in the form of daily data series, between 2007 and 2019. perform: meteorological characterization of the study area, evaporation estimates using the methods of Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al., (1955), Thornthwaite (1948), quantification of evaporation in the Class A tank (ECA), the comparison between the models, in addition to the calculation of correction coefficients (monthly, seasonal and annual) for the tank. The results showed values of evaporation accumulated in the 13 years varying between 1602.52 mm and 3657.95 mm, and values of generic monthly correction coefficients between 0.61 to 1.59; seasonal rainy from 0.79 to 1.64 and dry from 0.58 to 1.11; and annuals ranging from 0.74 to 1.54. With the development of the research, it was found that other evaporation estimation methods should be tested, covering other local factors, thus making the analysis more representative for the reality of the region.

Keywords: climatology; class A tank; correction coefficients.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tanque padrão do tipo Classe A.....	23
Figura 2 – Bacia Maranguapinho, localizada no estado do Ceará, Brasil.....	24
Figura 3 – Localização Açude da Agronomia pertencente a bacia Maranguapinho, Ceará, Brasil.....	25
Figura 4 – Regressões entre os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al., (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) com o tanque Classe A, para obtenção de coeficientes mensais genéricos no mês de janeiro.....	42
Figura 5 – Regressões entre os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) com o tanque Classe A, para obtenção de coeficientes sazonais do período chuvoso no ano de 2007	43
Figura 6 – Regressões entre os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) com o tanque Classe A, para obtenção coeficientes sazonais período seco no ano de 2007.....	44
Figura 7 – Regressões entre os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) com o tanque Classe A, para obtenção coeficientes anuais no ano de 2007	45

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição da precipitação Açude Santo Anastácio (2007-2019).....	34
Gráfico 2: Distribuição da temperatura e velocidade dos ventos Açude Santo Anastácio (2007-2019).....	35
Gráfico 3: Evaporação média em mm, Açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil, estimadas pelos métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) e Tanque Classe A entre 2007-2019	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evaporação média em mm, Açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil, estimadas por Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) e tanque Classe A entre 2007 - 2019	37
Tabela 2 - Coeficientes de correção mensais genéricos para o Tanque Classe A, Açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil	39
Tabela 3 - Coeficientes de correção sazonais, Linacre 1977, Linacre 1993 e Kohler 1955 para o Tanque Classe A, Açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil	40
Tabela 4 - Coeficientes de correção sazonais, Penman 1948 e Thornthwaite para o Tanque Classe A, Açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil	40
Tabela 5 – Coeficientes de correção anuais para o Tanque Classe A, Açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IPLANFOR	Instituto de Planejamento de Fortaleza
PLANERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
SB	Semiárido Brasileiro
SEUMA	Secretária Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente
SIGERH	Sistema de Gestão dos Recursos Hídricos
SRH	Secretaria Estadual de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	16
1.3	Estrutura do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Gestão de recursos hídricos no Ceará: açudagem como forma de sobrevivência do sertanejo	17
2.2	Perdas de água por evaporação: Causas e a importância de seu monitoramento ..	18
2.3	Métodos para estimativas de evaporação	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	Caracterização da área de estudo	24
3.1.1	<i>Açude Santo Anastácio (Açude da Agronomia)</i>	24
3.2	Aquisição de dados meteorológicos e caracterização meteorológica	25
3.3	Modelos de estimativas de evaporação	27
3.3.1	<i>Modelo de Penman (1948)</i>	27
3.3.2	<i>Modelo de Linacre (1977)</i>	29
3.3.3	<i>Método de Linacre (1993)</i>	29
3.3.4	<i>Modelo Kohler et al. (1955)</i>	30
3.3.5	<i>Modelo de Thornthwaite (1948)</i>	31
3.3.6	<i>Método tanque Classe A (ECA)</i>	31
3.4	Comparação entre os modelos e determinação dos coeficientes de correção.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Caracterização meteorológica da região	34
4.2	Evaporação no reservatório Santo Anastácio e comparação entre os modelos	36
4.3	Determinação dos Coeficientes de correção para o tanque Classe A.....	38
5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE A– REGRESSÕES LINEARES PARA COEFICIENTES MENSAIS GENERICOS (2007-2019).....	51
	APÊNDICE B– REGRESSÕES LINEARES PARA COEFICIENTES SAZONAIS	

PERÍODO CHUVOSO.....	55
APÊNDICE C– REGRESSÕES LINEARES PARA COEFICIENTES SAZONAIS	
PERÍODO SECO	61
APÊNDICE D– REGRESSÕES LINEARES PARA COEFICIENTES ANUAIS	
.....	66

1 INTRODUÇÃO

A construção de reservatórios artificiais no Semiárido Brasileiro (SB) baseia-se na ideia de que a seca é um problema vinculado a falta de água, e que essa situação deve ser resolvida com a acumulação do recurso hídrico em grandes quantidades, utilizando estruturas como barramentos, represas ou reservatórios. No entanto, é necessário que essas soluções hidráulicas sejam planejadas, projetadas e monitoradas, no intuito de garantir que as mesmas não se tornem ineficientes e possam vir a desempenhar seu papel de reservação de forma satisfatória, garantindo principalmente o bem-estar dos seus usuários (ASSUNÇÃO; LIVINGSTONE, 1993).

O semiárido brasileiro possui um histórico de grande escassez de água vinculado a degradação dos recursos ambientais, aumento da demanda hídrica e instabilidade climática. Estes fatores acarretam na necessidade de elaboração de medidas mitigadoras para acumulação de água (barragens, cisternas, reservatórios), e intensificam a importância de estudos para um melhor entendimento dos processos de perdas hídricas nestas estruturas, a exemplo da evaporação (ANDRADE; MARQUES, 2017).

A reservação de água não apenas no semiárido brasileiro, mas no mundo, está relacionada a diversas atividades como abastecimento humano e animal, geração de energia elétrica, proteção a eventos extremos de secas, navegação, lazer, o que implica diretamente na manutenção da qualidade de vida humana. As primeiras iniciativas para construção de açudes nesta região tiveram início na maior parte de forma privada para resolução de problemas pontuais, e com decorrer do tempo as instaurações de políticas públicas de açudagem surgiram, sem interrupções até os dias atuais (DANTAS, 2017).

O Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), criando em 1909, com o nome de Inspetoria de Obras as Secas, recebendo seu nome atual em 1945, durante anos juntamente com inúmeras entidades públicas, dedicaram-se na ampliação da oferta hídrica no semiárido brasileiro através da construção de reservatórios artificiais, como açudes de pequeno porte ou obras mais complexas de engenharia, a exemplo grandes barragens para usos múltiplos e canais de adução (DE NYS *et al.*, 2016).

A grande variabilidade interanual dos totais pluviométricos, com a combinação de elevadas taxas de evaporação, e solos rasos com pouca capacidade de armazenamento de água em aquíferos, tornam a região semiárida do país escassa em recursos hídricos, como já exemplificado. No entanto, apesar desse contexto preocupante, estudos relacionados ao diagnóstico hidroclimatológico, principalmente no que se refere ao fenômeno da evaporação,

são bastante escassos na região, pois sua realização torna-se dificultosa devido a necessidade de diversas variáveis meteorológicas, muitas vezes de difícil acesso (DANTAS, 2017).

O conhecimento sobre a transferência de vapor d'água para atmosfera vem a contribuir para o uso consciente da água, tornando-se um fator significativamente importante para elaboração e execução de projetos hídricos, esclarecer a dinâmica das perdas de água por evaporação nos reservatórios artificiais, possibilita uma melhor compressão das causas e efeitos deste fenômeno atmosférico na gestão das águas (MESQUITA *et al.*, 2020; FEITOSA, 2020; MEDEIROS, 2019). O presente estudo se propõe a avaliar e comparar diferentes métodos de estimativas da evaporação de água em um reservatório do Ceará.

1.1 Justificativa

O volume de água nos reservatórios artificiais da região semiárida varia muito ao longo do tempo, essa variação é atrelada principalmente à má distribuição dos índices pluviométricos durante todo ano. Além do território apresentar na maior parte de sua extensão valores elevados de evaporação, ocasionando perdas hídricas nas estruturas de acumulação, isto implica na necessidade de uma gestão de recursos hídricos voltada não apenas para o armazenamento, mas para a conservação da água essencialmente (FROTA, 2012).

Silva (2018) afirma que o conhecimento sobre a transferência de vapor d'água para atmosfera vem a contribuir para o uso consciente da água. Pesquisas nesta área são de interesse geral, podendo melhorar as metodologias de cálculo para os índices evaporativos, e beneficiar muitos setores da atividade humana subsidiando assim um melhor planejamento socioeconômico, principalmente regional.

Dessa forma quantificar perdas hídricas por evaporação torna-se fundamental na gestão de águas, inclusive no contexto do Ceará, visto que, o estado possui o maior número de espelhos de água incluindo lagos e reservatórios artificiais da região Nordeste, cerca de 28.195, segundo dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – (FUNCEME, 2013). Além disso, a realização de um diagnóstico hidroclimatológico possibilitará uma melhor compreensão por parte dos gestores sobre as causas e efeitos dos processos atmosféricos na gestão das águas, principalmente a evaporação, visto a escassez de estudos nesta área para subsídio operacional.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar diferentes métodos de estimativas da evaporação de água em reservatórios, visando subsidiar resultados mais precisos na quantificação das perdas hídricas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar meteorologicamente a região onde se localiza o reservatório, relacionando as particularidades meteorológicas aos processos evaporativos;
- Analisar e comparar os métodos de estimativa de perda de água por evaporação, utilizados na presente pesquisa;
- Determinar o método que melhor estima a taxa de evaporação no açude selecionado;
- Obter coeficientes de correção no cálculo de evaporação em reservatórios a partir do método do tanque classe A para área de estudo.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho se divide em 5 seções, já incluindo a referente introdução. Na seção 2, serão abordados conceitos relacionados a causas da evaporação, importância de seu monitoramento, métodos para estimativa de evaporação, além de um panorama geral de organização da Gestão de Recursos Hídricos no Ceará. Os conteúdos abordados na seção 2 são concentrados em pesquisas já realizadas na temática hidroclimatológica.

Na seção 3, os métodos da pesquisa serão apresentados com uma breve descrição do local escolhido, a forma de aquisição dos dados meteorológicos, o proceder para caracterização climática da região, assim como a comparação entre os modelos. A seção 4 apresentará as discussões baseadas nos resultados encontrados. As conclusões se encontram na seção 5.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Gestão de recursos hídricos no Ceará: açudagem como forma de sobrevivência do sertanejo

Conforme Soares (2013) o debate sobre a indisponibilidade hídrica no semiárido brasileiro, sobretudo na porção Nordeste do país, sempre foi uma questão atrelada ao desenvolvimento da região e ao bem-estar populacional. Diversos esforços foram e continuam a ser realizados para atenuação da escassez de água no sertão nordestino, o déficit hídrico é resultado dos eventos extremos de secas, que ocorrem com altas frequências devido à má distribuição temporal e espacial das chuvas. Esta particularidade climática é concentrada principalmente no Polígono das Secas, área caracterizada pelo predomínio do clima semiárido que abrange parte da região nordestina, inclusive o estado do Ceará.

O Ceará é composto por 184 municípios estando incluído no Semiárido Brasileiro (SB), localizado predominantemente na região Nordeste. O SB também é composto pelos estados do Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e o norte de Minas Gerais (BUAINAIN; GARCIA, 2013). No contexto do semiárido, é de fundamental importância o estabelecimento de estratégias para o armazenamento e conservação de recursos hídricos ao longo do tempo, pois as condições climáticas deste território não favorecem excedentes hidrológicos, comprometendo desse modo a qualidade de vida da população sertaneja (MEDEIROS, 2019).

A institucionalização do armazenamento de água em reservatórios no Ceará se deu na segunda metade do século XIX, pela resolução de 25 de agosto de 1832, sob o governo do tenente José Mariano de Albuquerque Cavalcante. Durante esse período houve a intensa construção de reservatórios no sertão cearense, tornando o estado brasileiro pioneiro na implementação da política de açudagem. Esta perspectiva foi fortemente consolidada durante todos esses anos, na medida que atualmente o Ceará possui o maior número de reservatórios para usos múltiplos do Brasil (DANTAS, 2017).

Em conformidade com Dos Santos (2011), além das políticas construtivas é importante ressaltar a administração voltada para a gestão e gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que, a situação de escassez de água depende mais da gestão hídrica do que das condições climáticas. Por décadas o DNOCS foi responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos no Ceará, no entanto, com o decorrer dos anos essa responsabilidade foi

descentralizada do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca, abrindo espaço para Secretaria Estadual de Recursos Hídricos (SRH), no ano de 1987.

Para a consolidação da gestão dos recursos hídricos no estado cearense, no ano de 1992 foi estabelecido o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH), e instituindo o Sistema de Gestão dos Recursos Hídricos (SIGERH), pela Lei Estadual nº11.996, de 24 de junho do mesmo ano, a Política Estadual de Recursos Hídricos. A consolidação do SIGERH ocorreu em 1993, com a criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), tornando a instituição responsável pela gestão dos recursos hídricos, atuando de acordo com três princípios básicos: integração, descentralização e participação (DOS SANTOS, 2011).

A amenização da seca hidrológica depende da eficiência da gestão das águas, assentando principalmente em duas funções da Engenharia: transporte de água do período chuvoso para o seco; e o transporte de água no espaço, dos reservatórios para as cidades e campos (CAMPOS, 1999). Portanto, é essencial que haja uma gestão eficiente dos recursos hídricos, assim como a fiscalização operacional das obras estruturais de reservação hídrica, pois é a partir deste contexto de monitoramento que surgem as preocupações com as perdas por evaporação, uma vez que, estas podem ocasionar a ineficiência dos reservatórios, no que diz respeito a sua capacidade de estocar água para os períodos de estiagens (DE ALMEIDA PINTO, 2020).

2.2 Perdas de água por evaporação: Causas e a importância de seu monitoramento

O fenômeno de evaporação consiste na passagem das moléculas de água no estado líquido para o estado de vapor do ar, decorrente de processos físicos que ocorrem na superfície líquida e na atmosfera, principalmente próxima a ela. Quando a quantidade de moléculas que deixam a superfície é superior as que retornam, ocorre o processo de evaporação, o conhecimento deste mecanismo é de extrema relevância na engenharia, devido às perdas de água que ocorrem em reservatórios e canais (MESQUITA; LIMA NETO, 2020).

Conforme Vieira (2015) a evaporação nos reservatórios significa perdas hídricas, o conhecimento destas perdas é necessário para a caracterização do potencial hídrico disponível de determinada região. No Nordeste devido ao alto índice de radiação solar, temperatura elevada e baixa umidade, os índices relativos à evaporação de superfícies livres ocorrem de maneira mais acentuada quando comparados com outras regiões. Apesar desse contexto, estudos relacionados ao fenômeno são bastante escassos na região, principalmente

pela complexidade atrelada ao seu desenvolvimento, uma vez que, este mecanismo envolve variáveis de difícil acesso.

No Brasil, o principal consumo de água é vinculado a irrigação (52%), sendo a responsável pelo maior percentual de retiradas de água doce disponível, no uso consuntivo, seguida pelo abastecimento urbano (23,8%), e pela indústria de transformação (9,1%) e abastecimento animal (8%). Considerando as perdas por evaporação a vazão de retirada é igual ao consumo, ou seja, possui retorno nulo. Para o cenário estadual, o Ceará se enquadra entre os estados com maior consumo de água por efeito de evaporação líquida (superior a 2.000 mm/ano), ocorrendo principalmente em reservatórios artificiais de grande porte para geração hidrelétrica ou para usos múltiplos, em especial para abastecimento público (ANA, 2019).

O ciclo hidrológico é um dos conceitos fundamentais na hidrologia para o entendimento da dinâmica da água, o processo ocorre pelo o aquecimento do ar, do solo e das águas superficiais através da energia do sol, sendo ela responsável pela evaporação das superfícies líquidas e pela evapotranspiração do solo. O vapor de água é transportado pelo ar, e passa pelo efeito de condensação para formar as nuvens, podendo assim retornar na maneira de precipitação para superfície terrestre, a água precipitada pode infiltrar no solo ou escoar até atingir um curso de água. (MESQUITA, 2020).

Mendonço e Tucci (1997) afirmam que o ciclo hidrológico é fechado em escala global, existindo sub-ciclos para a escala regional. Dessa forma atua de maneira integrada com outros ciclos de energia e matéria, em intervalos amplos de escalas espaciais e temporais. Muitos fatores influenciam de diversas formas a evaporação de água, tais como: concentração da substância evaporante, concentração substâncias no ar, forças intermoleculares, pressão barométrica, características geométricas do reservatório, estratificação térmica da água e condições de armazenamento de calor no corpo. Além disso, existem outros elementos significativos para o processo como: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento (COSTA *et. al.*, 2006).

- Radiação Solar: energia injetada constantemente na atmosfera pelo sol através de ondas irradiantes de energia eletromagnética, representa toda energia disponível na Terra. A radiação solar é principal fonte de energia para os processos físicos, químicos e biológicos do sistema Terra-atmosfera (ALLEN *et. al.*, 1998; COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

- Temperatura do Ar e Umidade Relativa do Ar: ambas se relacionam e possuem influência direta na evaporação, quanto mais elevada for a temperatura, maior é a

tensão de vapor de saturação, dessa maneira mais vapor de água encontra-se presente no mesmo volume de ar. Dessa forma, aumentando a temperatura do ar, maior é a tensão de saturação de vapor, conseqüentemente menor será a umidade relativa do ar (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013, FEITOSA, 2020).

- **Velocidade do Vento:** tem influência nas camadas atmosféricas acima do espelho de água. Na camada mais próxima da superfície líquida o movimento de vapor de água acontece por difusão molecular, isto é, por moléculas individuais. Acima da camada limite superficial o processo ocorre através de difusão turbulenta, isto significa, por movimento turbulento do ar. A evaporação ocasiona aumento da umidade no entorno da superfície até o ponto de saturação do ar. O vento é responsável por contribuir com a remoção do ar saturado, permitindo a continuidade do processo de evaporação (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013; DANTAS, 2017).

As análises de perdas hídricas por evaporação são de total importância no estudo das vazões máximas para a concessão de outorgas nos reservatórios de regularização. O acompanhamento deste fenômeno permite quantificar com mais precisão a quantidade de água presente nos reservatórios. Nesse sentido, o monitoramento das taxas evaporativas em obras de acumulação hídrica torna-se fundamental para a conservação da qualidade e quantidade de água nas suas diversas aplicações: abastecimento humano, geração de energia, pecuária, agricultura e indústria (PEREIRA *et al.*, 2009; VIEIRA, 2015).

2.3 Métodos para estimativas de evaporação

A estimativa da evaporação, pode ser realizada com a utilização de inúmeros modelos que se baseiam: no balanço de energia, processos de transferência de calor e massa, balanço hídrico, métodos aerodinâmicos, métodos combinados por formulações empíricas ou semi-empíricas, uso de tanques de evaporação, e por softwares computacionais que relacionam parâmetros físicos, químicos e biológicos ao processo evaporativo (LEÃO *et al.*, 2013).

Mesmo com a infinidade de alternativas na escolha de um método para estimativa de evaporação é ideal que sejam levados em consideração a praticidade e principalmente sua precisão. Os autores Roque e Sansigolo (2001), afirmam que a maioria destas metodologias são utilizadas para o acompanhamento da evaporação em reservatórios artificiais, sendo baseadas em observações de temperatura, umidade, velocidade do vento, radiação solar ou

através de medidas feitas nos tanques evaporimétricos instalados nas estações meteorológicas em ambiente terrestre.

O método de Penman (1948) desenvolvido na Inglaterra por Howard Penman, é considerado o primeiro procedimento físico adequado para estimativa de evaporação em superfícies naturais, sendo classificado como um método combinado, por envolver considerações teóricas relacionadas aos métodos de transferência de massa e do balanço de energia radiante (FONTES, 2005). Mesmo não sendo operacionalmente correto, e seu cálculo ser bastante trabalhoso exigindo grande quantidade de dados meteorológicos para sua determinação, o modelo ainda é amplamente usado como padrão para estimativas de evaporação e evapotranspiração (TUCCI, 2004).

Espínola Sobrinho (1983) relata que na análise física do método, para que a evaporação ocorra é necessário que haja uma força que provoque o deslocamento das moléculas de água na superfície evaporante, e uma fonte energética responsável pela transformação da fase líquida para gasosa. A força citada é proveniente da diferença de vapor entre superfície evaporante e o ar, já a fonte de energia é resultante do saldo de radiação.

Linacre (1977) através de simplificações no método de Penman (1948) desenvolveu uma fórmula empírica para estimar a evaporação de lagos. A metodologia se baseou no fato da equação de Penman (1948) utilizar valores de parâmetros meteorológicos (saldo de radiação, umidade relativa, velocidade do vento, e temperatura do ar) ausentes na maioria das vezes, diferentemente da equação de Linacre (1977), que apenas exigia a entrada de dados relacionados a temperatura média do ar e coordenada geográfica do local.

No entanto, Linacre (1977), acreditava que a calibração da equação traria muito da generalidade da fórmula básica de Penman (1948), sendo sua principal desvantagem a não consideração do saldo de radiação e os termos aerodinâmicos. Dessa forma, Linacre (1993) formulou um método que se baseou novamente em simplificações da equação de Penman (1948), na qual incluiu dados de precipitação e velocidade do vento, a metodologia foi testada em três lagos nos Estados Unidos, conferido resultados satisfatórios.

Outra adaptação do modelo de Penman (1948) é o método desenvolvido por Kohler *et al.* (1955), o qual tornou a equação mais adequada para a estimativa da evaporação em reservatórios, sendo a modificação elaborada por várias observações de campo. O modelo procurou compensar a igualdade entre as temperaturas do ar e a real na superfície líquida, existentes na equação de Penman (1948), por meio de uma correção utilizando um coeficiente psicrométrico, e pelo saldo de radiação presente na superfície.

O estudioso Thornthwaite (1948) elaborou um método empírico para calcular a estimativa de evapotranspiração, relacionando a temperatura média mensal e a evapotranspiração potencial para um mês de 30 dias com 12 horas de insolação. O conjunto de equações formulado foi baseado em balanços hídricos de bacias hidrográficas e medidas de evapotranspiração de lisímetros, utilizando apenas a temperatura do ar como variável independente.

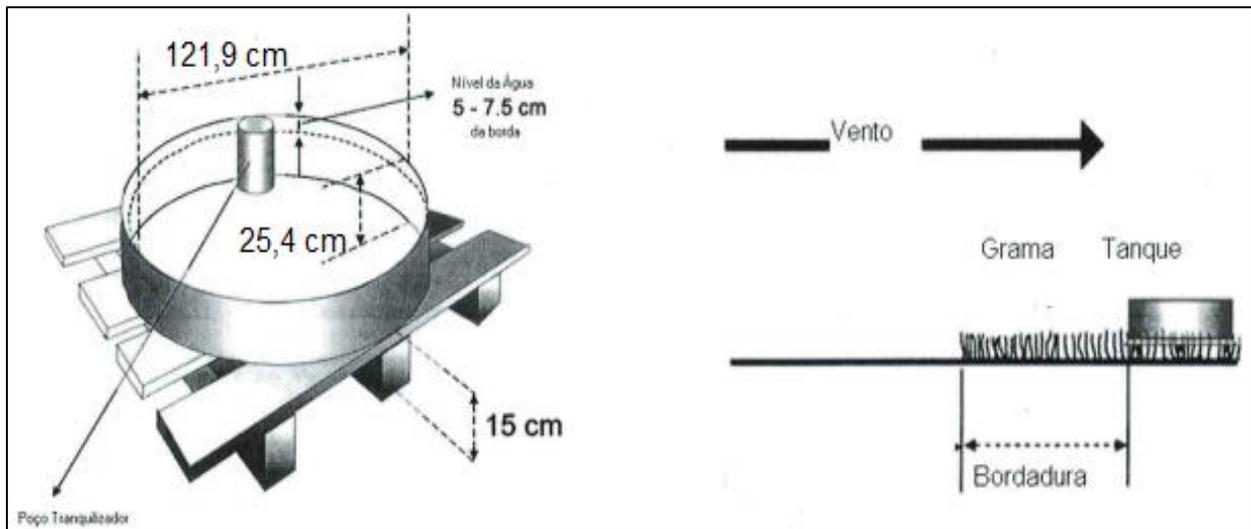
O método é limitado, uma vez que, as relações entre evaporação e clima em determinados lugares não se aplicam necessariamente em outro lugar, além disso, por ser desenvolvido para condições de clima úmido, apresenta subestimação para climas secos, no entanto, a metodologia ainda sim é largamente utilizada para escalas mensais (THORNTHWAITE, 1948).

Além disso, na realização da medição direta da evaporação em reservatórios utilizam-se tanques evaporimétricos, que possibilitam leituras precisas do nível de água. Estes instrumentos ficam sujeitos aos efeitos diretos dos parâmetros climatológicos como: radiação, temperatura, velocidade do vento e umidade. Devido a correlação positiva entre a evaporação da água nos lagos e nos tanques, os mesmos são frequentemente utilizados. Vários tipos de tanques são existentes, o mais utilizado é o tanque Classe A (ECA), inclusive no Brasil, devido seu fácil manejo e baixo custo de implantação (PEREIRA *et al.*, 1997; MESQUITA; LIMA NETO, 2020).

O tanque Classe A é um recipiente circular metálico construído em aço, alumínio ou ferro galvanizado, com 121,9 cm de diâmetro, 25,4 cm de profundidade, 0,5 cm de espessura e instalado em uma plataforma de madeira a 15 cm da superfície do solo, medidas padronizadas de acordo com Serviço Meteorológico Norte-Americano (U.S.W.B.). Além disto o equipamento deve conter água variando entre 5,0 e 7,5 cm da borda superior. A Figura 1 demonstra a configuração do equipamento. A medição da evaporação no tanque é realizada diariamente com o auxílio de uma régua instalada dentro do recipiente. Os valores medidos são corrigidos pela precipitação diária, e por esse motivo devem ser instalados próximos a estações meteorológicas (ALLEN *et al.*, 1998; COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

Na quantificação da evaporação através pelo ECA utiliza-se o princípio matemático do balanço de massa. Para estimativa do fenômeno em reservatórios, emprega-se um coeficiente de correção adimensional (K), uma vez que, os tanques superestimam ou subestimam a evaporação real da superfície líquida, na medida que são expostos aos fatores atmosféricos de forma mais intensa quando comparados ao ambiental natural (AMORIM NETO *et al.*, 1987; MESQUITA; LIMA NETO, 2020).

Figura 1- Tanque padrão do tipo Classe A



Fonte: ALLEN *et al.*, 1998. (Adaptado)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

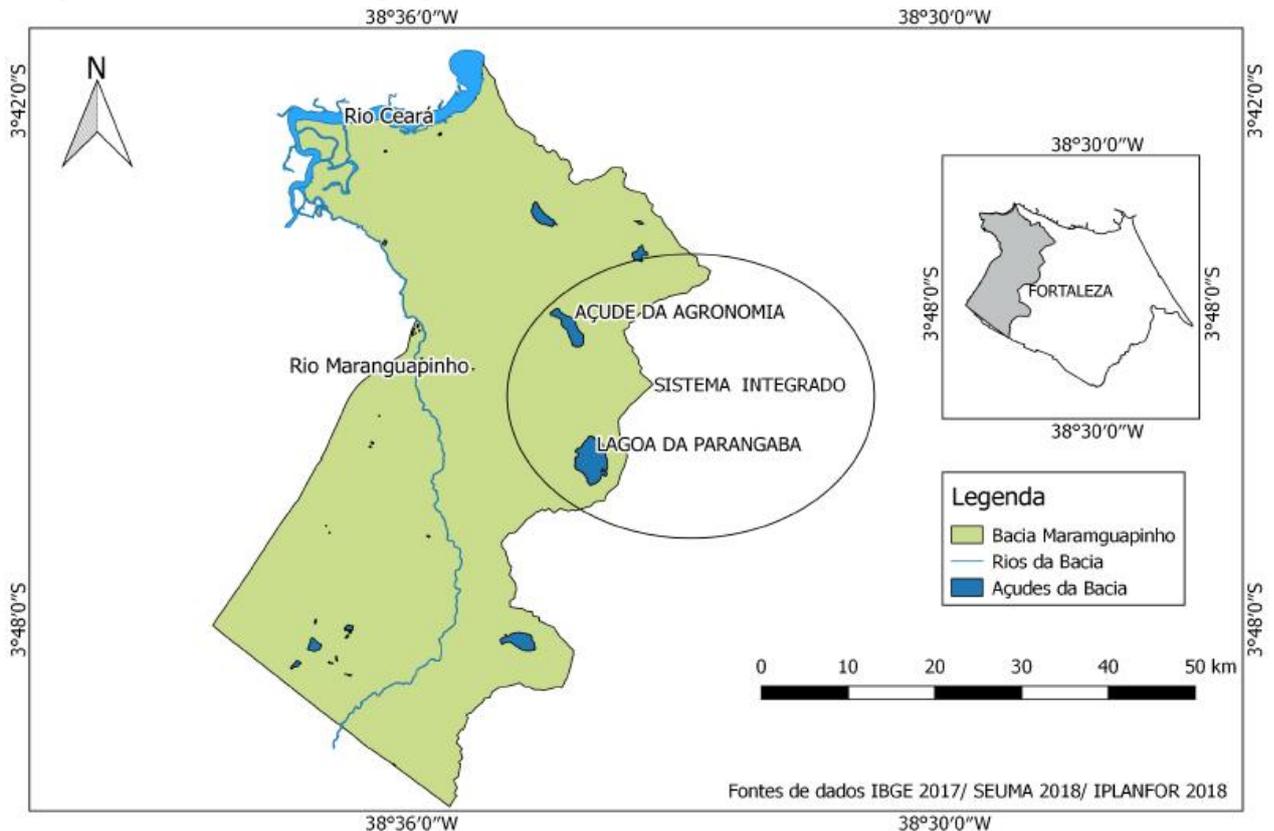
3.1 Caracterização da área de estudo

Para a escolha do reservatório utilizou-se como critério a localização do açude, levando em consideração as particularidades climáticas de sua região e disponibilidade de informações.

3.1.1 Açude Santo Anastácio (Açude da Agronomia)

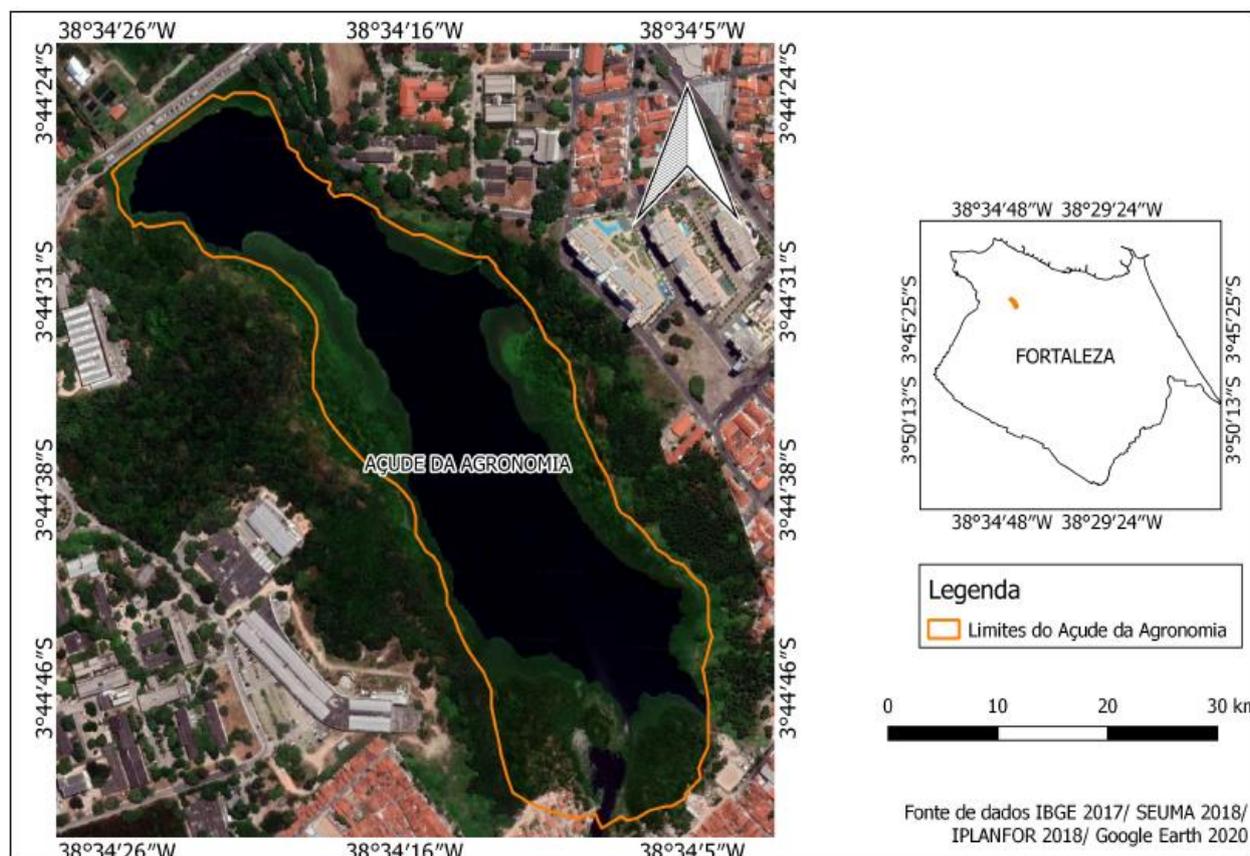
O açude Santo Anastácio (Figura 2), também conhecido como Açude da Agronomia, é um reservatório urbano localizado na cidade de Fortaleza – CE, situa-se parcialmente no Campus Universitário do Pici da Universidade Federal do Ceará – (UFC). Localizando-se na bacia do Maranguapinho (Figura 1), o lago possui uma bacia hidráulica e hidrográfica com áreas de 12,8 hectares e 143.400 m², respectivamente. Além disso, o açude apresenta as seguintes coordenadas geográficas 3°44'36"S e 38°34'15"W (SILVA, 2016).

Figura 2 – Bacia do Maranguapinho, localizada no estado do Ceará, Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 – Localização do Açude da Agronomia pertencente a bacia Maranguapinho, Ceará, Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor.

Atualmente o reservatório possui um volume de aproximadamente de 300.000 m^3 , com profundidade máxima de quatro metros, o açude faz parte do Sistema Integrado Canal-Reservatório Santo Anastácio, que consiste em uma das principais obras de drenagem da capital cearense. Ou seja, esse lago recebe contribuições de esgotamento sanitário bruto e drenagem de águas pluviais urbanas (LIMA NETO *et al.*, 2011; ARAÚJO, 2016).

Além disso, segundo dados do IPECE (2017), o município de Fortaleza possui clima Tropical Quente Sub-úmido, pluviosidade média de 1338,0 mm/ano, temperatura média de 26°C a 28°C , tendo seu período chuvoso compreendido entre os meses de janeiro a maio.

3.2 Aquisição de dados meteorológicos e caracterização meteorológica.

Para o cálculo da estimativa de evaporação no reservatório foram obtidos dados meteorológicos em forma de séries históricas a nível diário que compreenderam o período entre 2007 a 2019. A aquisição dos dados foi realizada na estação meteorológica do Pici-UFC,

localizada a aproximadamente 1,0 km do Açude Santo Anastácio, possuindo coordenadas geográficas 3°44'45''S, 38°34'55''W e 19,5 m de altitude acima do nível médio do mar.

Os parâmetros de precipitação e temperatura do ar foram obtidos três vezes ao dia (9h00, 15h00 e 21h00), a velocidade do vento, umidade e insolação total foram obtidos uma única vez ao dia. A evaporação medida pelo ECA foi obtida por medições diárias do nível de água, realizadas no tanque Classe A instalado na própria estação meteorológica, sendo computadas e disponibilizadas também nas séries históricas. A estação não forneceu dados de temperatura no ponto de orvalho, pressão de vapor e pressão de saturação. Por este motivo, adotou-se a metodologia proposta por Shuttleworth (2012), para a estimativa destes parâmetros.

A pressão de saturação varia com a temperatura do ar, sendo que aumenta à medida que a temperatura se eleva. Esse comportamento segue aproximadamente a Equação 1, proposta por Shuttleworth (2012), na qual expressa o parâmetro da seguinte forma:

$$e_s = 0,6108 \times \text{EXP} \left(\frac{17,27T}{237,2+T} \right) \quad (1)$$

Em que:

e_s = Pressão de saturação (kPa);

T = Temperatura do ar (°C).

A pressão de vapor pôde ser expressa em função da umidade relativa do ar conforme a Equação 2:

$$e = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (2)$$

Em que:

e = pressão de vapor (kPa);

e_s = pressão de saturação (kPa);

UR = umidade relativa do ar em percentual.

A temperatura no ponto de orvalho para uma dada pressão de vapor (e) inferior à pressão de saturação (e_s), pode ser obtida com a seguinte Equação 3:

$$T_d = \frac{\ln(e) + 0,4926}{0,0708 - 0,00421 \cdot \ln(e)} \quad (3)$$

Em que:

T_d = temperatura no ponto de orvalho (°C);

e = pressão de vapor (kPa).

Na região do estudo foi realizada a caracterização meteorológica com base nas análises da variação da precipitação total, temperatura média e velocidade dos ventos, durante o período de investigação dos 13 anos.

3.3 Métodos para estimativas de evaporação

As estimativas da evaporação no reservatório Santo Anastácio foram realizadas a partir da calibração dos métodos de Penman (1948), Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler *et al.*, (1955), Thornthwaite (1948) e a leitura das evaporações pelo tanque do tipo Classe A (ECA). Todos os modelos utilizados foram calibrados a nível diário, para posterior obtenção das perdas hídricas a nível mensal e anual.

3.3.1 Modelo de Penman (1948)

Baseado no modelo proposto por Penman (1948), as evaporações dos reservatórios foram calculadas de acordo com a Equação 4:

$$E = 86,4 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - \frac{R_n - G}{\lambda \rho} + \frac{\gamma}{\Delta + \lambda} 0,26(0,5 + 0,54u_2)(e_s - e_a) \quad (4)$$

Em que:

E = Evaporação, (mm.dia⁻¹);

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

γ = Coeficiente psicrométrico, (kPa °C⁻¹);

R_n = Saldo radiação, (W m⁻²);

λ = calor latente de vaporização, (MJ kg⁻¹);

ρ = Densidade da água, (1000 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, (kPa); e ,

e_a = Pressão parcial de vapor, (kPa).

Na obtenção dos parâmetros da Equação 11, adotou-se a metodologia descrita por Allen *et al.* (1998). O calor latente de vaporização (λ), em MJ kg⁻¹, foi calculado com base na Equação 5:

$$\lambda = 2,501 - 0,00236T \quad (5)$$

Onde:

T = temperatura média do ar mensal, (°C).

Para a obtenção do saldo de radiação (Rn), em $W m^{-2}$, utilizou-se a Equação 6:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (6)$$

Onde:

R_{ns} = saldo de radiação de ondas curtas, ($W m^{-2}$);

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

O saldo de ondas curtas foi calculado com base na Equação 7:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (7)$$

Em que:

α = albedo;

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

Para o cálculo da radiação solar foi utilizada a Equação 8:

$$R_s = \left([a_s + b_s] \frac{n}{N} \right) R_a \frac{1}{0,0864} \quad (8)$$

Onde,

$a_s + b_s$ = índices equivalentes a fração da radiação extraterrestre que chega na terra em dias claros. Os valores a serem adotados para a calibração da equação irão seguir as recomendações de Allen *et al.* (1998);

R_a = radiação extraterrestre, ($MJ m^{-2} d^{-1}$);

n = insolação, (h);

N = duração máxima diária de brilho solar, (h).

O saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}) foi calculado de acordo com a Equação 9:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{kx}^4 + T_{kn}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e\alpha}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \frac{1}{0,0864} \quad (9)$$

Em que:

σ = constante Stefan-Boltzmann, $4,903 \cdot 10^{-9} MJ K^{-4} m^{-2} d^{-1}$;

R_{so} = radiação solar para dias sem nuvens, ($MJ m^{-2} d^{-1}$);

T_{kx} = temperatura máxima, (K);

T_{kn} = temperatura mínima, (K).

A radiação solar para dias sem nuvens (R_{so}), em $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$, foi calculada de acordo com a Equação 10:

$$R_s = (0,75)R_a \quad (10)$$

3.3.2 Modelo de Linacre (1977)

As perdas de água por evaporação pelo método de Linacre (1977) puderam ser obtidas em função da altitude, latitude, temperaturas diárias (máximas e mínimas) e do ponto de orvalho, sendo expressos seus resultados em $mm.dia^{-1}$, conforme a Equação 11:

$$E_L = \frac{\frac{700(T+0,006h)}{100-\varphi} + 15(T-T_d)}{80-T} \quad (11)$$

Onde:

E_L = Evaporação no lago ($mm.dia^{-1}$);

T = Temperatura média do ar ($^{\circ}C$);

h = Altitude do local (m);

φ = Latitude local (graus);

T_d = Temperatura média mensal do ponto de orvalho ($^{\circ}C$).

3.3.3 Método de Linacre (1993)

A evaporação dos reservatórios foi calculada de acordo com a Equação 12, proposta por Linacre (1993). Os dados de entrada utilizados foram: temperatura média, precipitação, e velocidade do vento.

$$E_L = (0,015 + 0,00042T + 10^{-6}h)[0,8R_s - 40 + 2,5Fu_2(T - T_d)] \quad (12)$$

Em que:

E_L = Evaporação no lago ($mm.dia^{-1}$);

R_s = Radiação solar na superfície do lago (Wm^{-2});

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

u_2 = Velocidade do vento a 2 m de altura (ms^{-1});

h = Altitude do local (m);

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

T_d = Temperatura do ponto de orvalho média mensal (°C).

O valor de R_s foi calculado com base nos dados de precipitação, levando em consideração também a interferência que as nuvens provocaram na radiação solar extraterrestre. Dessa forma, R_s foi calculado a partir da Equação 13:

$$R_s = R_a - (0,85 - 0,047C_m) \quad (13)$$

Onde:

R_a = radiação extraterrestre, ($W m^{-2}$);

C_m = média do número de décimos do céu ocupado pela nuvem no momento da observação (adimensional).

Conhecidos os valores de precipitação total mensal (P_m), em mm, o valor de C_m foi calculado utilizando a Equação 14:

$$C_m = 1 + 0,51\log(P_m) + [\log(P_m)]^2 \quad (14)$$

O fator de correção (F) devido a altitude (h) do local foi obtido pela Equação 15:

$$F = 1,0 - 0,000087h \quad (15)$$

3.3.4 Modelo Kohler *et al.* (1955)

A evaporação no reservatório ($mm.dia^{-1}$) foi estimada de acordo com o modelo proposto por Kohler *et al.* (1955), a partir da Equação 16:

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

Onde:

E_L = Evaporação no reservatório ($mm.dia^{-1}$);

γ_L = Coeficiente psicrométrico corrigido ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$);

Δ = Declividade da curva de pressão de saturação de vapor, ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$);

E_a = Poder evaporante do ar ($mm d^{-1}$);

ΔR_n = Saldo de radiação, em equivalente de lâmina de água evaporada ($mm d^{-1}$).

O coeficiente psicrométrico foi obtido a partir da Equação 17:

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

Em que:

P = pressão atmosférica, (kPa).

O poder evaporante do ar foi estimado em função da velocidade do vento (U) e a partir do déficit de pressão de saturação de vapor, como proposto na Equação 17:

$$E_a = 7,518(0,37 + 0,00255U)(e_s - e_a)^{0,88} \quad (17)$$

O saldo de radiação representado pela expressão ΔR_n , foi obtido pela Equação 18:

$$\Delta R_n = 154,4 \exp[(1,8T - 180)(0,0106 \ln(0,239R_s)) - 0,01554] \quad (18)$$

3.3.5 Modelo de Thornthwaite (1948)

A estimativa de evaporação pelo modelo de Thornthwaite (1948) foi expressa em (mm. mês⁻¹), baseando-se na Equação 19:

$$E = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^{6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239} \left(\frac{10}{d} \right) \quad (19)$$

Onde:

E= Evaporação mensal (mm. mês⁻¹);

T= Temperatura média mensal, T > 0°C (C°);

I = Índice de calor da região;

d= Número de dias do mês.

O índice de calor anual será calculado pela Equação 20:

$$I = \sum_{i=0}^{12} i, i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514} \quad (20)$$

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

3.3.6 Método tanque Classe A (ECA)

Para as quantificações das perdas hídricas no reservatório utilizando o tanque Classe A, foram necessários os dados referentes ao processo de evaporação já contabilizados pela estação, a partir destes resultados, foram ajustados coeficientes de correções adimensionais para a região em estudo.

A evaporação do tanque Classe A segue o princípio matemático do balanço hídrico que segue os conceitos da Lei de conservação de massa, Equação 21. Para estimativa do fenômeno em lagos e reservatórios (E_L), emprega-se um coeficiente de correção adimensional (K), explicitado na Equação 22, uma vez que, os tanques superestimam ou subestimam a evaporação real da superfície líquida, na medida que são expostos aos fatores atmosféricos de forma mais intensa quando comparados ao ambiental natural (ALLEN *et al.*, 1998; MESQUITA; LIMA NETO, 2020).

$$E_t = D_{t-1} - D_t + P - P_r \pm e \quad (21)$$

$$E_L = KE_t \quad (22)$$

Onde:

E_t = Evaporação no tanque (mm);

D_{t-1} = Lâmina de água medida no tanque no dia anterior;

D_t = Lâmina de água medida no tanque no dia corrente (mm);

P = Precipitação (mm);

P_r = Precipitação residual (mm);

e = erros.

3.4 Comparação entre os modelos e determinação dos coeficientes de correção

Devido ao tanque Classe A simular condições de uma superfície de água livre, os valores obtidos pelo equipamento foram usados como referência, confrontando-os com os demais modelos. É importante ressaltar que metodologias que utilizam a umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, apresentam melhores desempenhos quando comparados aos demais métodos clássicos (MEDEIROS, 2019).

O tanque Classe A apresenta inteira exposição aos fatores atmosféricos o que provoca uma maior sensibilidade às variações da atmosfera. Além disso, suas características como a geometria e o tipo de material empregado na sua fabricação, influenciam na quantificação das medidas do instrumento, por esse motivo é importante ajustar coeficientes de correções para a utilização do método (MOLLE, 1989). Os coeficientes de correção para o tanque foram determinados em três níveis: mensais genéricos, estimados pelo o somatório dos valores mensais de evaporação; sazonais, sendo dividido em chuvosos, primeiro semestre do

ano, e secos, segundo semestre do ano; e anuais, obtidos pelo acumulativo das evaporações mensais de cada ano, conforme metodologia de Mesquita *et al.* (2020).

O software Microsoft Excel 2019, foi utilizado para a estimativa dos coeficientes através do uso de análise de regressão linear, correlacionando os valores de evaporação modelados por cada equação e os valores quantificados pelo tanque. As regressões lineares foram ajustadas de forma que a reta linear interceptasse a origem, eliminando dessa maneira o valor da constante ($\beta_0 = 0$). Além disso, foram avaliados os coeficientes de determinação (R^2).

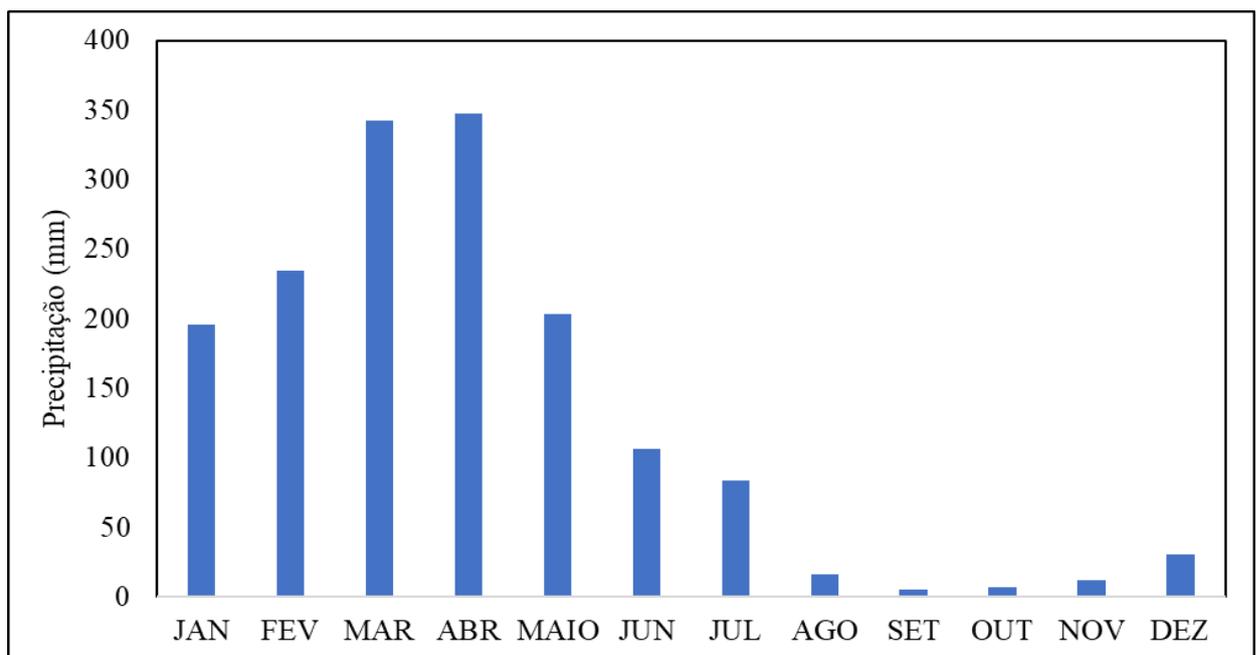
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização meteorológica da região

Os Gráficos 1 e 2 mostram a distribuição interanual da precipitação, temperatura do ar e velocidade do vento ao longo dos anos de 2007 a 2019 para ilustrar o padrão observado na região em estudo. Como pode ser observado existe uma clara sazonalidade nos valores de precipitação apresentados, sendo predominantemente superiores na primeira metade do ano (janeiro-junho), respectivo período chuvoso da região; os menores valores foram observados nos meses subsequentes, período seco. O maior valor médio precipitado encontra-se no mês de abril, 347,05 mm, enquanto que o menor volume está presente no mês de setembro 5,79 mm.

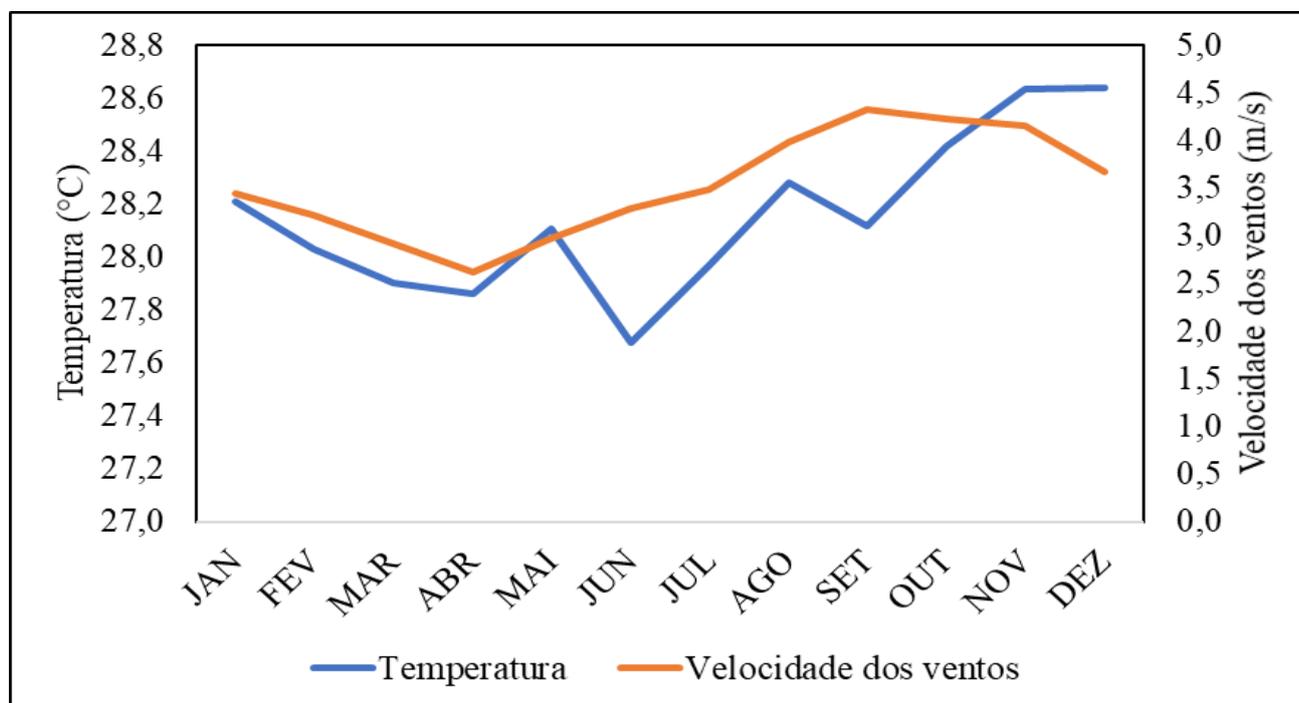
A temperatura na região do reservatório compreende valores entre 27,7°C a 28,6°C, constatando os maiores valores na segunda metade do ano (agosto a dezembro), coincidindo com os meses de redução de chuvas. O comportamento da velocidade média dos ventos mostra valores predominantemente mais altos na segunda metade do ano (julho-dezembro), acontecendo no período seco da região. A velocidade do vento média para a região é de 3,5 m/s. O mês de abril apresenta a menor velocidade do vento, de 2,6 m/s, ao contrário de setembro que apresenta a maior, 4,3 m/s.

Gráfico 1: Distribuição interanual da precipitação no açude Santo Anastácio (2007-2019).



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 2: Distribuição da temperatura média e velocidade média dos ventos no açude Santo Anastácio (2007-2019)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dados das Normais Climatológicas do Brasil (1981-2010), disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), demonstram que para cidade de Fortaleza, os maiores valores precipitados encontram-se dentro do primeiro semestre do ano, variando entre 134,6 mm a 412,8 mm. Além disso, os parâmetros de velocidade do vento e temperatura média compreendem valores entre 2,3 m/s e 4,0 m/s; 26,1°C e 27,8°C; respectivamente. Apresentando semelhanças nos comportamentos climáticos observados na presente pesquisa.

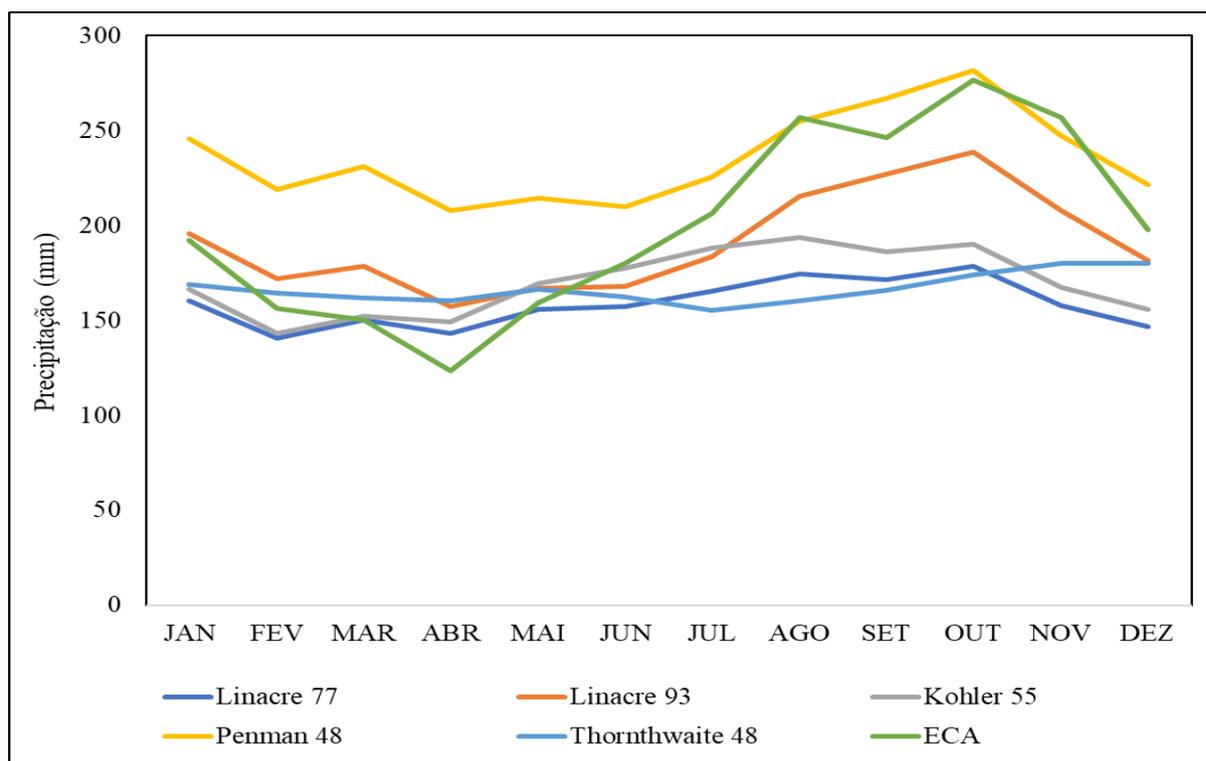
Dos Santos *et al.*, (2019), descreveram as características hidrológicas do Nordeste brasileiro, apresentando semelhança com os dados obtidos neste trabalho. Eles mostraram que as chuvas dos estados nordestinos ocorrem durante algumas estações do ano, inclusive no verão, período coincidente com a estação chuvosa da área de estudo. Os maiores volumes precipitados se concentram de janeiro a maio, com média de 500 a 1000 mm ao ano.

Mesquita *et al.*, (2020), em pesquisa para determinação da influência das condições hidroclimáticas e da qualidade da água nas taxas de evaporação do Açude Santo Anastácio, apresentaram para o ano de 2013 temperaturas entre 27,5°C a 29°C, assim como perfil de velocidade dos ventos variando entre 2,7 m/s a 4 m/s, similar aos resultados obtidos na análise.

4.2 Evaporação no reservatório Santo Anastácio e comparação entre os modelos

O Gráfico 3 apresenta as estimativas da evaporação no reservatório Santo Anastácio pelos diferentes métodos utilizados.

Gráfico 3: Evaporação interanual em mm, açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil, estimadas pelos métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler *et al.* (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) e com o tanque Classe A entre 2007-2019.



Fonte Elaborado pelo autor.

Com base no Gráfico 3, percebe-se que todos os modelos seguiram comportamento semelhante: apresentaram valores interanuais de evaporação expressivamente menores que 200 mm durante os primeiros meses do ano, exceto Penman (1948), que quantificou valores acima da média registrada pelos demais métodos. Os maiores valores de temperatura e velocidade do vento, associados com a baixa precipitação, que ocorrem durante o segundo semestre dos anos justificam o perfil de crescimento das evaporações nesse intervalo de tempo.

No geral, é evidenciado no Gráfico 3 um representativo aumento da evaporação a partir do mês de julho em quase todos os modelos, exceto Thornthwaite (1948), que apresenta pequenas variações no decorrer do período avaliado. Os maiores valores de Thornthwaite (1948), encontram-se a partir do mês de outubro, sendo o valor máximo registrado em

dezembro, 179,99 mm.

O modelo de Thornthwaite (1948), estimou os menores valores de evaporação, isto pode ter ocorrido devido a sua equação considerar apenas o resultado médio das temperaturas do ar, assim o modelo tende a quantificar baixas evaporações nos meses onde as temperaturas médias do ar são menores. Ou seja, no período chuvoso da região que compreende os primeiros meses do ano (janeiro-junho), os valores de temperatura registrados foram os menores, variaram entre 27,7°C a 28,2°C, o que caracterizou o comportamento da metodologia neste período. Além disso, a temperatura média do ar apresentou variações entre 27,7°C a 28,6°C, o que caracterizou a baixa variação no volume quantificado.

Os valores de evaporação no reservatório Santo Anastácio comparados ao método do Tanque Classe A, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Evaporação interanual em mm, Açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil, estimadas por Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler *et al.* (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) e com o tanque Classe A entre 2007 - 2019

Evaporação Reservatório Santo Anstácio em (mm) 2007-2019						
Mês	Linacre 77	Linacre 93	Kohler 55	Penman 48	Thornthwait e 48	ECA
Janeiro	160,17	195,77	166,24	245,90	168,81	192,42
Fevereiro	140,63	172,13	143,35	219,12	164,64	156,48
Março	150,37	178,30	152,52	230,84	161,78	150,25
Abril	143,25	157,23	149,03	207,64	160,49	123,27
Mai	155,90	166,85	169,55	214,25	166,37	159,55
Junho	157,11	168,06	177,68	209,86	162,57	180,06
Julho	165,39	183,76	188,29	225,54	155,28	206,18
Agosto	174,44	215,31	193,73	254,91	160,28	256,73
Setembro	171,66	227,26	186,08	266,94	166,13	246,16
Outubro	178,65	238,75	190,21	281,38	174,08	276,75
Novembro	157,78	207,79	167,20	247,35	179,90	256,76
Dezembro	146,70	181,60	155,82	221,59	179,99	198,00
Total Acumulados	1902,03	2292,83	2039,70	2825,33	2000,33	2402,61

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a Tabela 1, excetuando-se os resultados do tanque Classe A, nota-se que todos os modelos apresentaram em seus totais acumulados valores evaporados superiores a 1500 mm, sendo o maior valor constatado por Penman (1948), 2825,33 mm, ao contrário do que foi percebido em Linacre (1977), que apresentou o menor somatório evaporado, 1902,03 mm, os demais variaram entre 2000,33 mm e 2402,61 mm.

Comparando os valores de evaporação obtidos pelos modelos aos quantificados

no tanque Classe A, percebeu-se que Linacre (1993), apresentou a lâmina evaporada mais próxima ao tanque Classe A, uma diferença de 109,78 mm, diferentemente de Penmam (1948), que apresentou um valor superior ao instrumento, 422,72 mm. Kohler *et al.*, (1955), quantificou a segunda evaporação mais próxima do ECA, apresentando variação de 362,91 mm, enquanto Linacre (1977) e Thornthwaite (1948), computaram as maiores diferenças em relação ao tanque evaporímetro, 500,58 mm e 402,28 mm, respectivamente.

Ainda sob a análise da Tabela 1, e desconsiderando os resultados do tanque Classe A, a menor lâmina evaporada foi registrado no mês de fevereiro pelo método de Linacre (1977), 140,63 mm, enquanto a maior foi obtida por Penman (1948), no mês de outubro 281,38 mm. No geral as maiores evaporações coincidiram com o período seco da área investigada, assim como as menores foram registradas no período chuvoso.

A maior parte dos resultados obtidos por Linacre (1977), se mostraram inferiores quando comparados a todos os outros métodos, o valor total acumulado das evaporações foi quantificado em 1902,03 mm, a menor entre os modelos. Rodrigues (2020), em pesquisa para quantificação da distribuição da taxa de evaporação de reservatórios nordestinos, estimou por sensoriamento remoto juntamente com o modelo de Linacre (1977) e evaporação de referência, valores evaporados variando entre 4,9 mm/dia a 6,2 mm/dia, expressivamente baixos para as variações de evaporação quando comparado a outros métodos utilizados no estudo. Esta condição foi mais perceptível em menores reservatórios, inclusive o Açude Santo Anastácio, também investigado na pesquisa do referido autor. Resultados semelhantes aos valores encontradas no presente trabalho.

Com base na Tabela 1, o ECA apresentou em seus resultados os maiores valores evaporados durante os meses de agosto a dezembro, período onde as temperaturas médias do ar e as velocidades dos ventos registradas foram mais acentuadas. A maior lâmina evaporada foi registrada no mês de outubro, totalizando 276,75 mm. Outubro foi o mês no qual se registrou a maior velocidade dos ventos de 4,2 m/s e a segunda maior temperatura 28,4°C, dentro do período analisado.

4.3 Determinação dos Coeficientes de correção para o tanque Classe A

Quando se trata de coeficientes de correção para o tanque do tipo Classe A, um valor próximo de 0,70 costuma ser adotado, a exemplo Peixoto (2016), obteve valores médios de coeficientes de correção para o tanque Classe A entre 0,62 a 0,79, na região de Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. Athoff *et al.*, (2019), em pesquisa em um reservatório rural na

região Centro- Oeste do Brasil, obteve coeficientes de correção entre 0,72 e 0,92. Mesmo estes valores sendo indicado por diversas literaturas, Oliveira *et al.*, (2005), ressaltam a importância de se verificar o seu uso, assim como qualquer outro, uma vez que, para condições climáticas diferentes daquelas onde este tipo de tanque foi desenvolvido e testado, erros graves podem repercutir nas análises.

As Tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam coeficientes de correção do tanque Classe A mensais genéricos, sazonais e anuais. Todas as regressões referentes aos coeficientes encontram-se nos Apêndices A, B, C e D da presente pesquisa.

Tabela 2 - Coeficientes de correção mensais genéricos para o Tanque Classe A, açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil

Coeficientes Mensais Genéricos para o tanque Classe A (2007-2019)										
Mês/ Método	Linacre 1977		Linacre 1993		Kohler 1955		Penman 1948		Thorntwaite 1948	
	K	R²	K	R²	K	R²	K	R²	K	R²
Janeiro	0,81	0,98	1,00	0,99	0,84	0,98	1,25	0,98	0,85	0,98
Fevereiro	0,87	0,98	1,07	0,98	0,89	0,98	1,35	0,98	1,01	0,97
Março	0,94	0,95	1,12	0,96	0,95	0,96	1,44	0,95	1,01	0,96
Abril	1,10	0,96	1,21	0,96	1,15	0,96	1,59	0,96	1,23	0,97
Mai	0,95	0,98	1,02	0,99	1,03	0,98	1,31	0,98	1,01	0,98
Junho	0,86	0,99	0,93	1,00	0,98	0,99	1,15	0,99	0,89	0,99
Julho	0,79	0,99	0,88	0,99	0,91	0,99	1,08	0,99	0,74	0,99
Agosto	0,68	1,00	0,84	1,00	0,75	1,00	0,99	1,00	0,62	0,99
Setembro	0,64	1,00	0,85	1,00	0,70	1,00	1,00	0,99	0,61	0,99
Outubro	0,64	1,00	0,86	1,00	0,69	1,00	1,01	1,00	0,62	1,00
Novembro	0,65	1,00	0,86	1,00	0,69	1,00	1,02	1,00	0,69	0,99
Dezembro	0,73	0,98	0,90	0,98	0,77	0,98	1,10	0,98	0,76	0,99

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 - Coeficientes de correção sazonais, Linacre 1977, Linacre 1993 e Kohler 1955 para o Tanque Classe A, açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil

Coeficientes Sazonais para o tanque Classe A (2007-2019)												
Ano/ Método	Linacre 1977				Linacre 1993				Kohler 1955			
	Chuvoso	R²	Seco	R²	Chuvoso	R²	Seco	R²	Chuvoso	R²	Seco	R²
2007	0,90	0,98	0,64	0,99	1,03	0,99	0,82	1,00	0,95	0,98	0,70	0,99
2008	0,94	0,96	0,68	1,00	1,07	0,97	0,86	1,00	1,00	0,96	0,73	0,99
2009	1,06	0,96	0,71	0,99	1,20	0,97	0,92	1,00	1,11	0,96	0,76	0,98
2010	0,83	0,99	0,67	0,99	0,96	1,00	0,83	1,00	0,87	0,99	0,73	0,99
2011	0,99	0,97	0,68	0,99	1,11	0,97	0,87	1,00	1,05	0,98	0,74	0,99
2012	0,79	0,99	0,65	1,00	0,94	0,99	0,82	1,00	0,84	0,98	0,71	1,00
2013	0,84	0,98	0,72	1,00	1,00	0,99	0,93	1,00	0,89	0,97	0,79	0,99
2014	0,90	0,97	0,72	0,97	1,04	0,98	0,93	0,97	0,98	0,97	0,79	0,96
2015	0,87	0,97	0,67	0,99	1,02	0,97	0,85	1,00	0,92	0,98	0,75	0,99
2016	0,88	0,99	0,64	0,99	1,01	0,99	0,81	1,00	0,92	0,99	0,75	0,98
2017	0,95	0,96	0,69	0,99	1,07	0,96	0,87	1,00	1,01	0,97	0,73	0,99
2018	0,94	0,99	0,69	0,99	1,07	0,99	0,88	1,00	1,00	0,99	0,70	0,99
2019	1,14	0,95	0,58	0,62	1,26	0,95	0,72	0,61	1,19	0,96	0,63	0,62

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4 - Coeficientes de correção sazonais, Penman 1948 e Thornthwaite para o Tanque Classe A, açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil

Coeficientes Sazonais para o tanque Classe A (2007-2019)								
Ano/ Método	Penman 1948				Thornthwaite 1948			
	Chuvoso	R²	Seco	R²	Chuvoso	R²	Seco	R²
2007	1,31	0,98	0,97	1,00	0,97	0,98	0,61	0,99
2008	1,38	0,96	1,02	1,00	1,04	0,96	0,71	1,00
2009	1,56	0,96	1,10	0,99	1,24	0,95	0,71	0,99
2010	1,20	1,00	0,99	1,00	1,14	0,96	0,65	0,99
2011	1,45	0,96	1,04	1,00	0,97	0,99	0,67	0,99
2012	1,18	0,99	0,97	1,00	1,05	0,97	0,62	0,99
2013	1,25	0,99	1,11	1,00	0,83	0,99	0,69	0,96
2014	1,32	0,97	1,1	0,97	0,92	0,98	0,67	0,99
2015	1,28	0,97	1,05	1,00	0,97	0,96	0,68	0,99
2016	1,28	0,99	1,01	1,00	0,91	0,96	0,62	0,98
2017	1,36	0,94	0,97	0,99	0,97	0,99	0,69	0,83
2018	1,37	0,98	1,03	0,99	1,01	0,96	0,71	0,99
2019	1,64	0,93	1,11	1,00	0,99	0,98	0,72	0,64

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5 – Coeficientes de correção anuais para o Tanque Classe A, Açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil

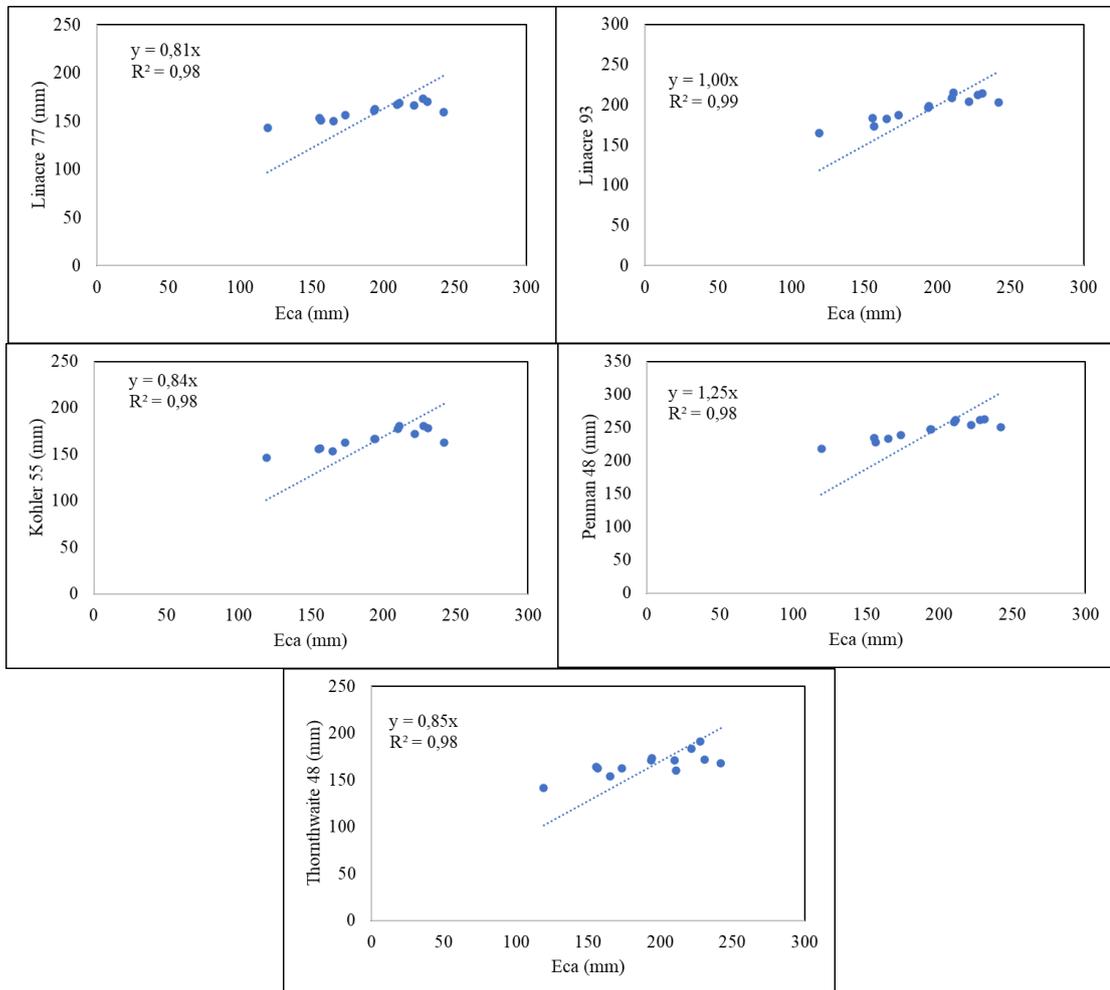
Coeficientes Anuais para o tanque Classe A (2007-2019)										
Ano/ Método	Linacre 1977		Linacre 1993		Kohler 1955		Penman 1948		Thorntwaite 1948	
	K	R²	K	R²	K	R²	K	R²	K	R²
2007	0,80	1,00	0,95	1,00	0,86	1,00	1,17	1,00	0,82	0,99
2008	0,84	1,00	0,99	1,00	0,90	1,00	1,24	1,00	0,91	0,99
2009	0,94	0,99	1,10	1,00	0,99	0,99	1,40	0,99	0,97	0,99
2010	0,77	1,00	0,91	1,00	0,82	1,00	1,11	1,00	0,84	0,99
2011	0,87	0,99	1,02	1,00	0,93	0,99	1,29	0,99	0,89	0,99
2012	0,74	1,00	0,89	1,00	0,79	1,00	1,09	1,00	0,74	1,00
2013	0,81	1,00	0,98	1,00	0,87	1,00	1,20	1,00	0,85	1,00
2014	0,84	1,00	1,00	1,00	0,91	1,00	1,24	1,00	0,86	1,00
2015	1,05	0,99	0,99	1,00	0,88	1,00	1,23	1,00	0,84	1,00
2016	0,82	1,00	0,95	1,00	0,85	1,00	1,18	1,00	0,85	0,99
2017	0,80	1,00	0,97	0,99	0,89	0,99	1,21	0,99	0,85	0,99
2018	0,83	0,99	1,00	1,00	0,91	1,00	1,25	1,00	0,90	0,99
2019	0,85	1,00	1,21	1,00	1,11	0,99	1,54	0,99	1,17	0,99

Fonte: Elaborado pelo autor.

No presente trabalho os coeficientes mensais genéricos variaram entre 0,61 a 1,59, estes valores foram obtidos correlacionando a evaporação mensal modelada por cada método e a medida pelo tanque Classe A mensalmente. Mesquita *et al.*, (2020), em estudos no reservatório Santo Anastácio, obtiveram através do uso de modelagem hidrológica dos parâmetros de qualidade da água e da dinâmica térmica, resultados para coeficientes genéricos em torno de 0,59 a 0,70, valores que compreendem parte do intervalo onde se encontram os coeficientes obtidos nesta pesquisa. No entanto, parte dos resultados em ambos os estudos são divergentes do que se é sugerido na literatura. Mesquita *et al.*, (2020) explicam que isto ocorre pelo fato de o reservatório estudado apresentar concentrações significativas de nutrientes que influenciam nos processos evaporativos, impactando nos coeficientes do tanque Classe A.

A Figura 3, apresenta as regressões entre os métodos e o tanque Classe A nos meses de janeiro de 2007-2019, para obtenção dos coeficientes mensais genéricos.

Figura 4 - Regressões entre os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al., (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) com o tanque Classe A, para obtenção de coeficientes mensais genéricos no mês de janeiro

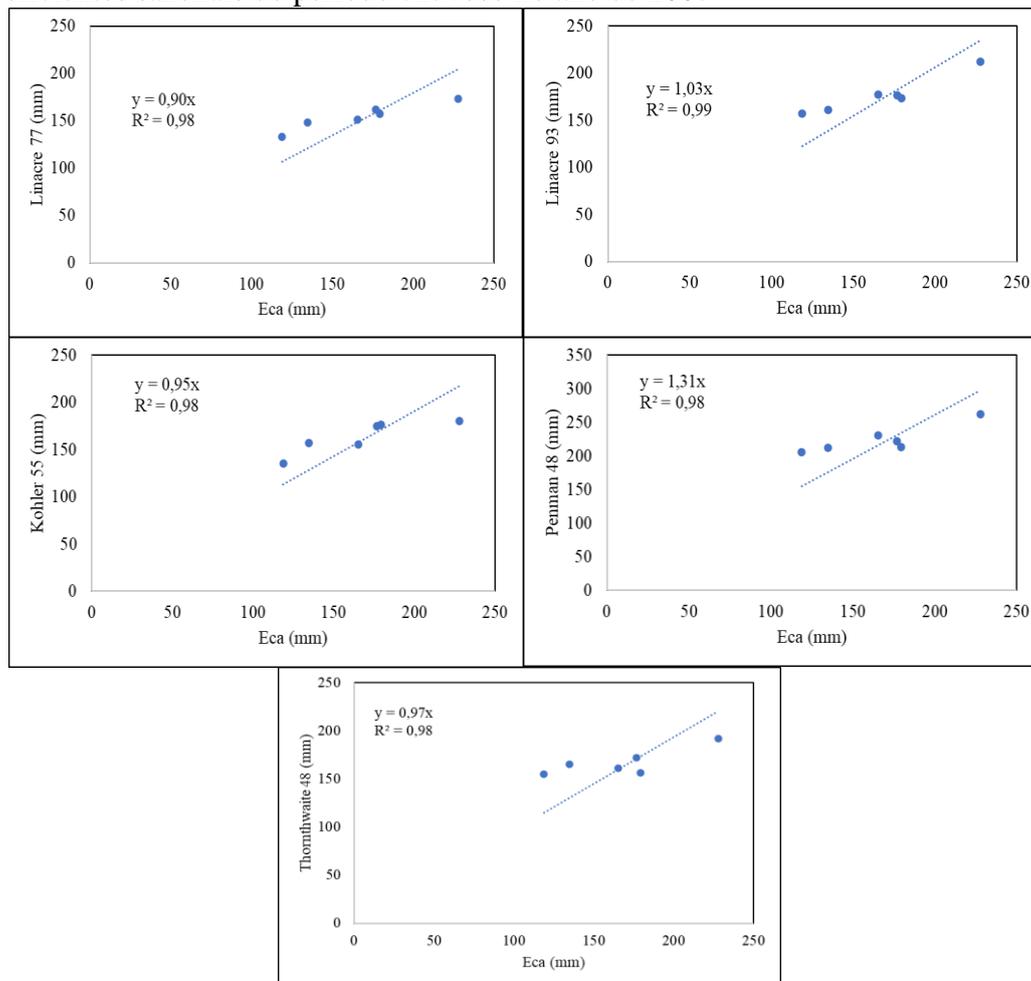


Fonte: Elaborado pelo autor

No que se refere aos coeficientes sazonais (chuvoso e seco) para o tanque Classe A, observa-se que os coeficientes para o período chuvoso são ligeiramente superiores quando comparados aos do período seco. Os valores dos coeficientes para o período chuvoso variaram entre 0,79 a 1,64, enquanto os do período seco oscilaram de 0,58 a 1,11. Com base nas Tabelas 3 e 4, calculou-se que os valores médios dos coeficientes do período chuvoso estiveram entre 0,93 a 1,35, enquanto para o seco os valores compreenderam o intervalo de 0,67 a 1,04. Oliveira *et al.*, (2005), obtiveram em estudo na região da Paraíba, Nordeste brasileiro, coeficientes sazonais de 0,9 e 0,7 para o período chuvoso e seco, respectivamente, integrando parte dos valores obtidos na presente pesquisa. Mesquita *et al.*, (2020), obtiveram em pesquisa coeficientes sazonais do tanque Classe A para o açude Santo Anastácio entre 0,61 a 0,75, englobando parte dos coeficientes calculados na presente pesquisa.

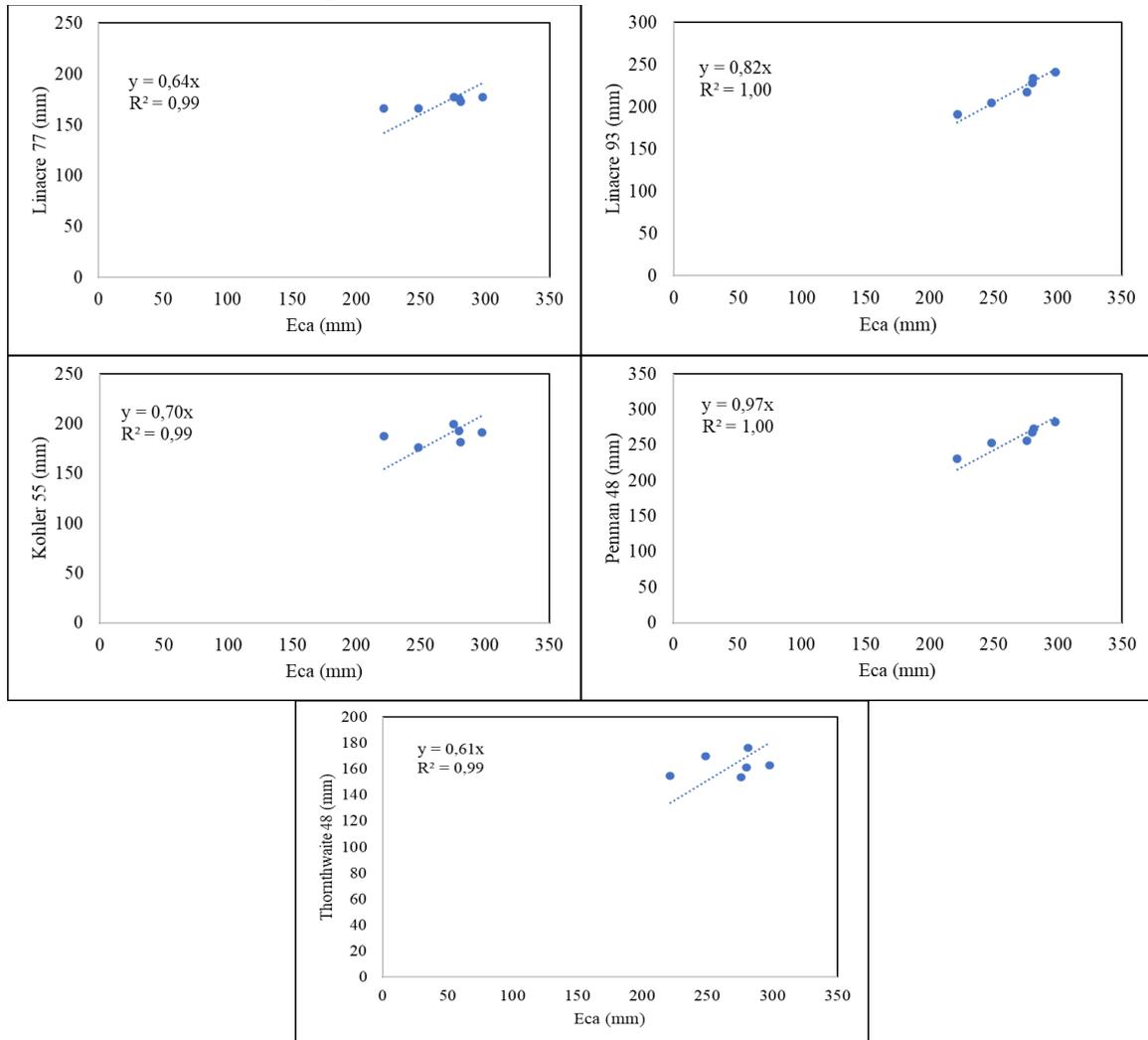
As Figuras 4 e 5, apresentam as regressões entre os métodos e o tanque Classe A no ano de 2007, para obtenção dos coeficientes sazonais do período chuvoso e seco, respectivamente.

Figura 5 - Regressões entre os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) com o tanque Classe A, para obtenção de coeficientes sazonais do período chuvoso no ano de 2007



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 - Regressões entre os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) com o tanque Classe A, para obtenção de coeficientes sazonais do período seco no ano de 2007

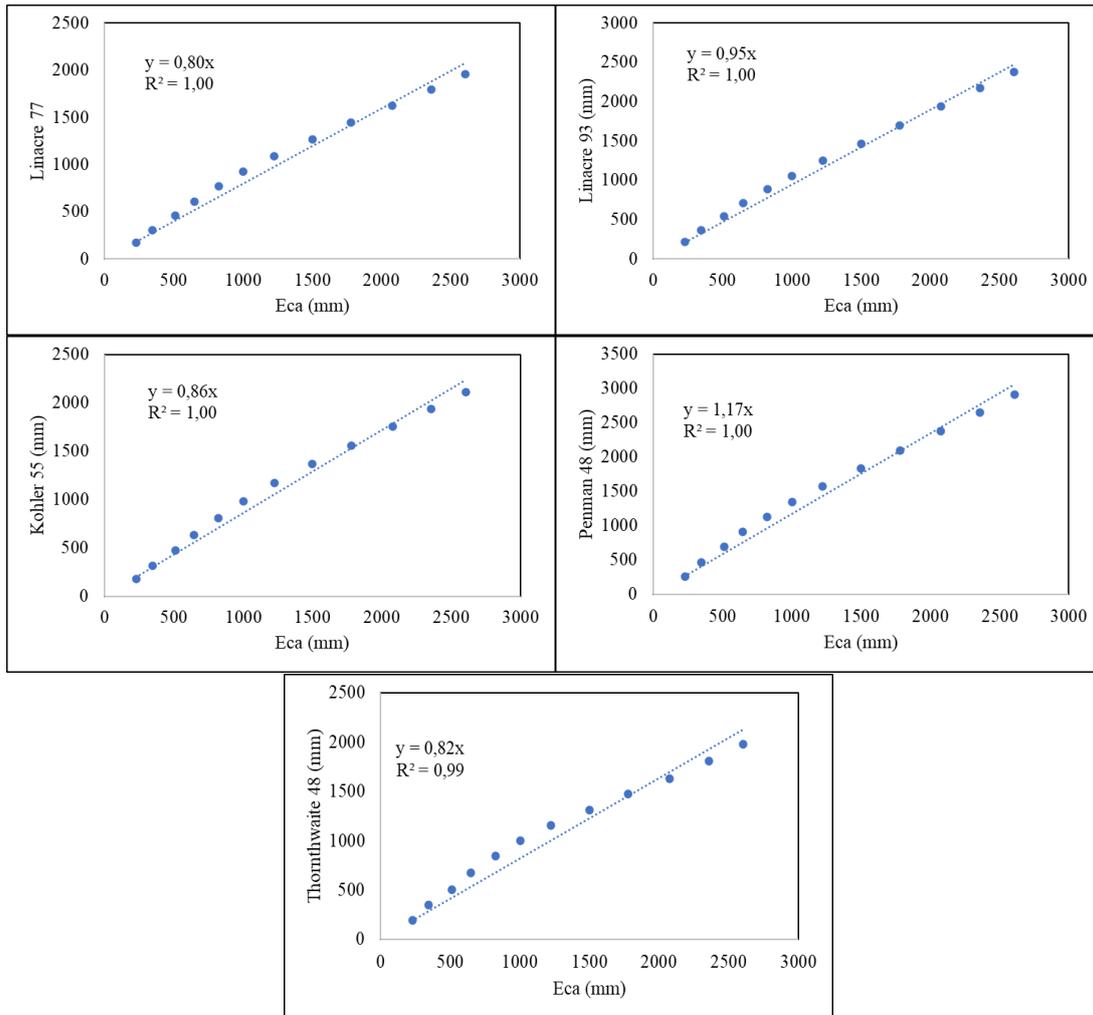


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como já referenciado o valor 0,70 é comumente utilizado como coeficiente de correção para o ECA, em especial como coeficiente anual. No entanto, o presente trabalho evidencia os valores de coeficientes anuais de correção entre 0,74 a 1,54. Analisando a Tabela 5, percebe-se que todos os coeficientes obtidos apresentaram (R^2) variando entre 0,99 a 1,00, representando assim uma boa correlação entre os dados. O intervalo de valores encontrados engloba os sugeridos pela literatura. No entanto, também apresenta valores divergentes aos recomendados. Em estudo da evaporação no reservatório Sobradinho- BA, Vieira (2015), obteve coeficientes com variação na faixa de 0,52 a 1,62, quando correlacionou valores do tanque Classe A aos modelos de Penman (1948), Linacre (1993), Kohler *et al.*, (1955), Thornthwaite (1948) e Complementary Relationship Lake Evaporation (CRLE), estando os

resultados dentro do intervalo dos coeficientes obtidos na presente pesquisa. A Figura 6 apresenta a correlação linear da evaporação acumulada anualmente obtida entre os métodos clássicos e a observada no tanque Classe A para o ano de 2007.

Figura 7 - Regressões entre os métodos de Linacre (1977), Linacre (1993), Kohler et al. (1955), Penman (1948), Thornthwaite (1948) com o tanque Classe A, para obtenção coeficientes anuais no ano de 2007



Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral o intervalo de valores encontrados para os coeficientes variou entre 0,58 e 1,64, no entanto, não foi observado especificamente o K de 0,70 tradicionalmente utilizado para correção da evaporação obtida no tanque Classe A, mesmo nos meses mais quentes. O valor mais próximo de 0,70 encontrado foi inferior em aproximadamente 17% do valor padrão usual.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos para o período de 2007 a 2019 pode-se concluir que:

- A região onde está localizado o açude Santo Anastácio possui uma clara sazonalidade de precipitação, sendo as estações divididas em período chuvoso e seco. A temperatura, umidade do ar, velocidade do vento e a radiação solar atuam como causas no processo de evaporação.
- O uso de diferentes tipos de equação para estimativa da evaporação em reservatórios pode ser utilizado em reservatórios de água, mesmo quando não se dispões de todos os dados meteorológicos.
- Obteve-se como totais evaporados para o período dos 13 anos estudados os seguintes valores: Linacre (1977) 24726,42 mm; Linacre (1993) 29806,79 mm; Kohler (1955) 26516,06 mm; Penman (1948) 36729,28 mm; Thornthwaite (1948) 26004,23 mm; Tanque Classe A 31233,92 mm.
- Métodos que utilizam a umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, como Linacre (1993) e Penman (1948), apresentam melhores desempenhos. Os valores obtidos pela equação de Linacre (1993), apresentaram a melhor semelhança quando comparado ao modelo do tanque Classe A, já Penman (1948), apresentou valores ligeiramente superiores ao modelo.
- Foi constatado nas estimativas dos coeficientes de correção mensais genéricos, sazonais e anuais do tanque Classe A, valores sugeridos na literatura, porém, com alguns acima do recomendado. Isso reforça a necessidade de se ajustar coeficientes adequados para cada região climática.

Embora este seja um estudo preliminar que deve ter continuidade para que haja um maior aprofundamento desta questão, sugere-se para área em específico uso de metodologias que utilizem um maior número de parâmetros para esta análise, a exemplo de fatores locais, tornando análise mais representativa para a realidade da região do reservatório em questão.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, Richard G. et al. **Crop Evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998
- ALTHOFF, Daniel et al. Improving methods for estimating small reservoir evaporation in the Brazilian Savanna. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 105-112, 2019.
- AMORIM NETO, M. da S; MAGALHÃES, A. A. **Utilização do tanque classe "A" para determinação da época de irrigação**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1987.
- ANDRADE, C. M.; MARQUES, L. de S. Semiárido brasileiro: alguns desafios. **Diversitas Journal**, Santana do Ipanema/AL. vol.2, n. 2, p. 279-283, mai./ago. 2017.
- ARAÚJO, G. M. **Análise e modelagem integrada da qualidade da água em um sistema urbano canal-reservatório eutrofizado, localizado em Fortaleza/Ce**. 2016. 208 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/21100>. Acesso em: 21 mai. 2020
- ASSUNÇÃO, Luiz Márcio; LIVINGSTONE, Ian. Desenvolvimento inadequado: construção de açudes e secas no sertão do Nordeste. **Revista brasileira de economia**, Rio de Janeiro. Vol. 47, n. 3, p. 425-448, jul./set. 1993.
- BRASIL, Agência Nacional de Águas. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Agência Nacional de Águas, Brasília, 2019.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Desenvolvimento rural do semiárido brasileiro: transformações recentes, desafios e perspectivas. **Confins** (Paris), v. 1, p. 1, 2013.
- CAMPOS, J. N. B.; Administração e Cobrança De Água Bruta: O Passado e O Presente. In: **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH, Belo Horizonte- MG, 1999.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. 336p.
- DANTAS, Sullivan Pereira. **Açudagem no nordeste brasileiro e no Ceará**: estimativa de evaporação do açude Castanhão em um ano seco. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/28613>. Acesso em: 07 abr. 2020.
- DE ALMEIDA PINTO, Bárbara Hillary et al. Estratégias inovadoras para pesquisas de evaporação de água em reservatórios superficiais no nordeste brasileiro. *In: VI ENPI- Encontro Nacional de Propriedade Intelectual*. 2020.
- DE NYS, Erwin et al. **Secas no Brasil**: política e gestão proativas. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE, Banco Mundial, 2016. 292 p.
- DOS SANTOS, Cíntia Lins. Gerenciamento dos recursos hídricos do estado do Ceará:

Princípios e Práticas. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 7, n. 2, 2011.

DOS SANTOS, S.R.Q et al. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no nordeste do Brasil. **Revista brasileira de climatologia**, v. 25, 2019.

ESPÍNOLA SOBRINHO, J. **Análise dos termos aerodinâmico e balanço de energia da equação de Penman, para Viçosa, MG**. 1983. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1983. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11476>. Acesso 21 abr. 2020

FEITOSA, Gabriela Pinheiro. **Cálculo da evaporação em reservatório tropical por diversos métodos: o caso do açude Gavião**. 2020. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/56474>

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. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/9987>. Acesso em: 21 abr. 2020

FROTA, Patrícia Vasconcelos. **Potencial de erosão na Bacia de Drenagem do Açude Orós - CE**. 2012, 179 f. Tese (doutorado)—Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/11939>

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Municipal 2017**. Fortaleza: IPECE. 2017. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/perfil-municipal-2017/>. Acesso em: 18 abr. 2020

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Normais Climatológicas (1981-2010)**. Brasília – DF: INMET. 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em 20 abr. 2021.

KOHLER, M.A., et al. Evaporation from pans and lakes, U.S. **Weather Bureau Research**, n. 38, p. 1-21, 1955.

LEÃO, R.A.O.; SOARES, A.A.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, D.D. da. 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.

LIMA NETO, I. E., et al. Sediment redistribution due to a dense reservoir network in a large semi-arid Brazilian basin. **Hydrological Sciences Journal**, v. 56, p. 319-333, 2011.

LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates using temperature data alone. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 8, p. 409-424, 1977.

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.

MEDEIROS, Aline Daniele Lucena de Melo. **Avaliação de métodos de estimativa de evaporação no reservatório armando Ribeiro Gonçalves em Itajá/RN**. 2019. 45f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Centro de Engenharias e Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/3520>. Acesso em: 07 abr. 2020.

MENDIONDO, Eduardo M.; TUCCI, Carlos EM. Escalas hidrológicas: I conceitos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 21-44, 1997.

MESQUITA, J.B. de F., et al. The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake. **Journal of Hydrology**, v. 590, p. 125456, 2020.

MESQUITA, J. B. F.; LIMA NETO, I. E. Evaporação em Lagos e Reservatórios. *In*: TOLRINO, A.R.V., et al. **Coletânea a Conferência da Terra: línguas, ritos e protagonismos nos territórios indígenas: planejamento ambiental, recursos hídricos e patrimônio cultural (Tomo III)**. 1ed. Boa Vista: Editora da Universidade Federal de Roraima, 2020, v. 3, p. 88-97.

MOLLE, F. **Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes**. Recife: SUDENE/DPG/PRN/GT.HME, 1989.

OLIVEIRA, E, R., et al. Evapotranspiração de referência em Januária-mg pelos métodos tanque classe “A” e Hargreaves-Samani. **Colloquium Agrariae**. v. 16, n. 1, p. 48-54, Jan-Fev. 2020.

OLIVEIRA, GM de et al. Estimativa da Evaporação e Análise de Uso do Coeficiente (kp) do Tanque “Classe A” nas Regiões do Cariri e Sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 73-83, 2005.

PEIXOTO, Tayd Dayvison Custódio et al. Coeficiente do Tanque Classe A para a região de Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 2, p. 515, 2016.

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.; et al. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997.

PEREIRA, Catilena Silva; TARGA, Marcelo Santos; DA SILVA ALMEIDA, Ana Aparecida. Evaporação líquida em reservatórios artificiais. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 1-7, 2019.

RODRIGUES, Italo Sampaio. **Evaporação em reservatórios do Nordeste brasileiro: avaliação da distribuição espacial e influência da mata ripária por sensoriamento remoto**. 2020. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53463>. Acesso em: 07 fev. 2021

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.

SILVA, Larissa Carolina Corraide da. **Captação de água da atmosfera – análise do potencial brasileiro e desenvolvimento de protótipos**. 2018. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/27361>. Acesso em: 07 fev. 2021

SILVA, Maria Nataniela da. **Determinação de desreguladores endócrinos na água e no sedimentos do açude Santo Anastácio na cidade de Fortaleza/Ce**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/18798>. Acesso 11 maio. 2020

SILVA, Údson Renan dos Santos. **Efeito das incertezas da estimativa da disponibilidade hídrica superficial por modelagem hidrológica na aplicação da outorga de direito de uso de recursos hídricos**. 2019. 147f. Dissertação (Mestrado - Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2019. Disponível em: https://maasa.ufba.br/sites/maasa.ufba.br/files/dissertacaoudson_maasa2019.pdf. Acesso em: 08 abr. 2021.

SHUTTLEWORTH, W. J. **Terrestrial Hydrometeorology**. New York: John Wiley & Sons, 2012, 448 p.

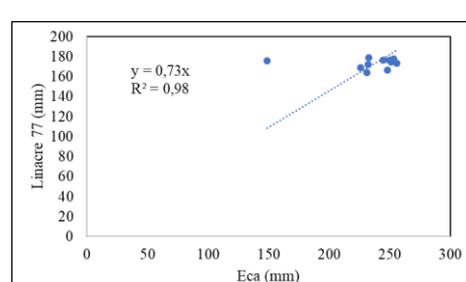
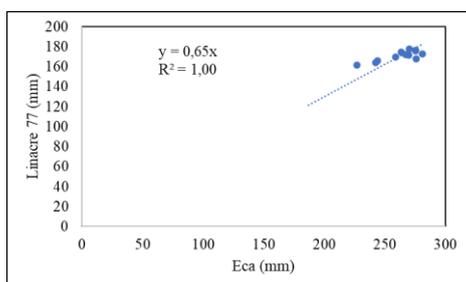
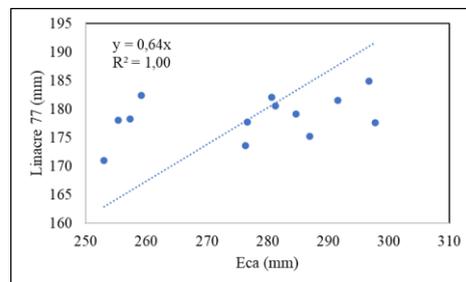
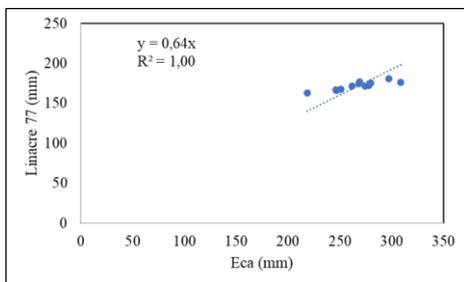
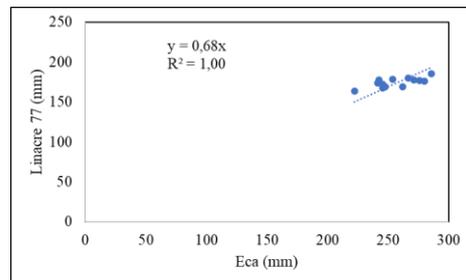
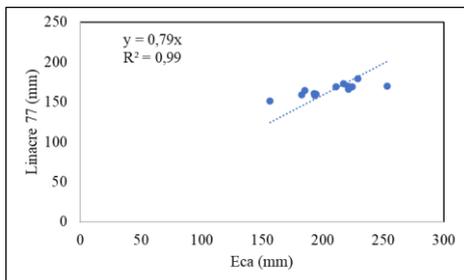
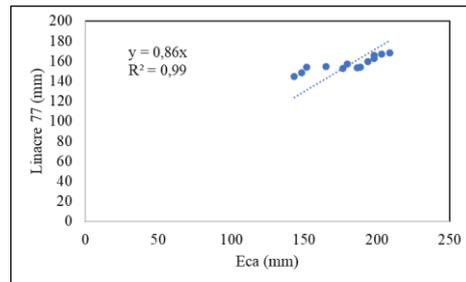
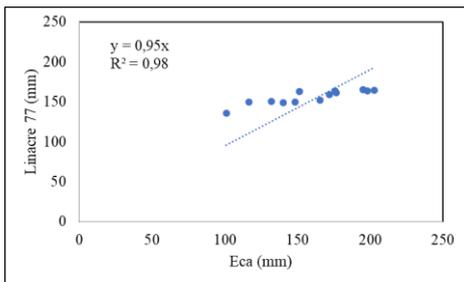
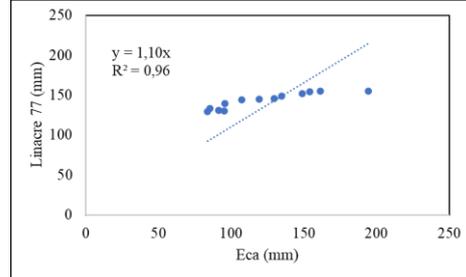
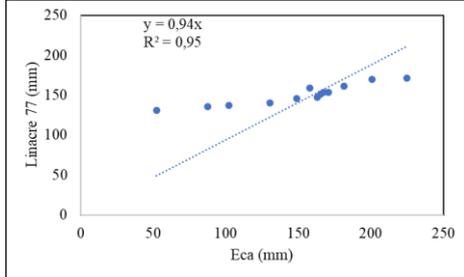
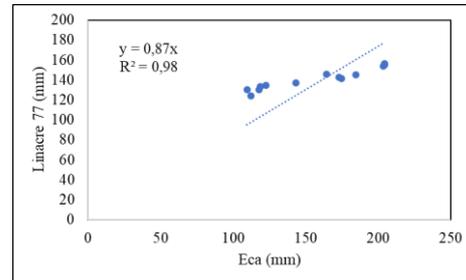
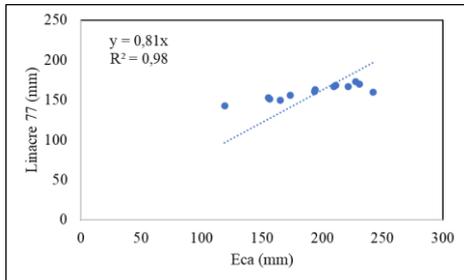
SOARES, Edmilson. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Revista Geografias**, vol. 9, n. 2, p.75-86, 2013.

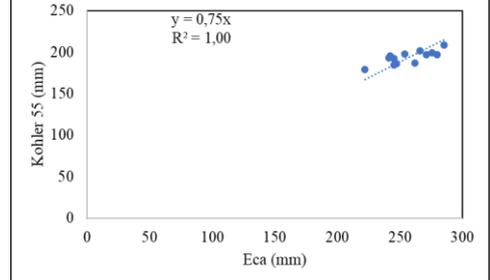
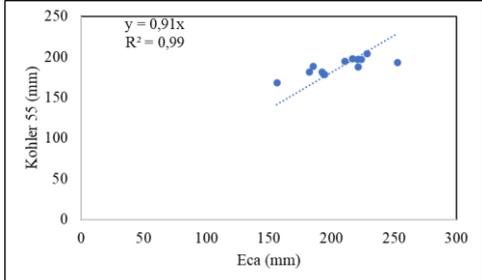
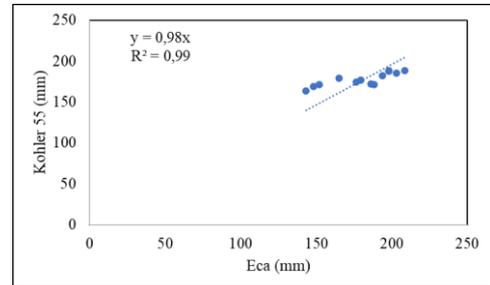
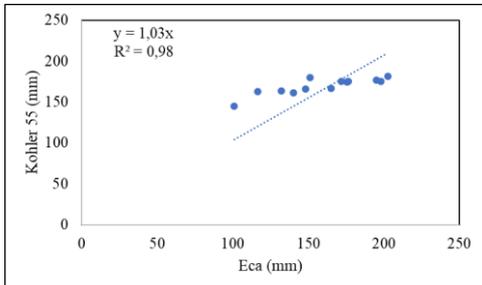
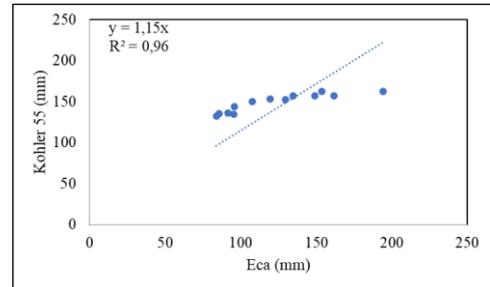
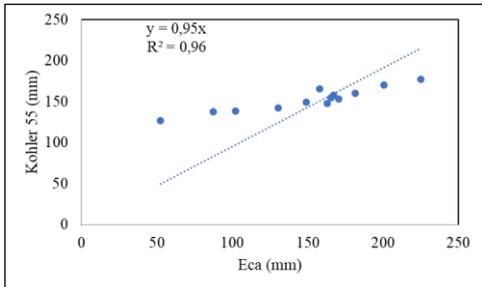
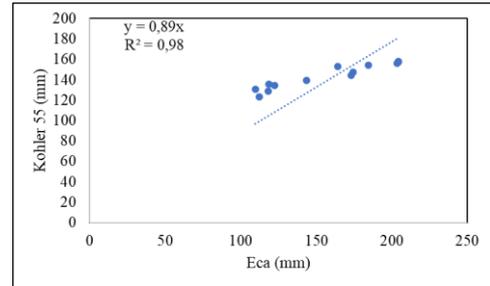
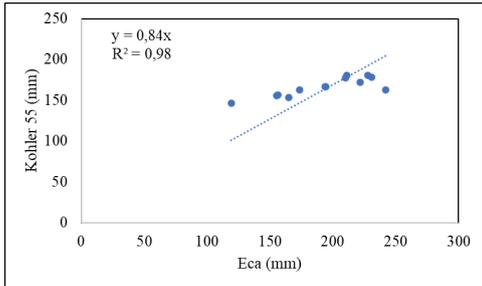
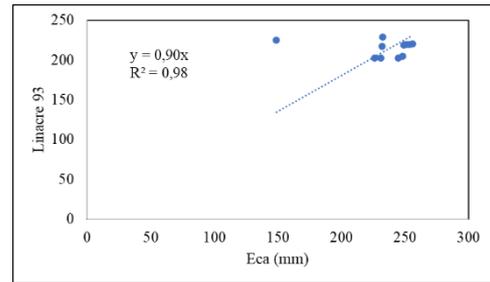
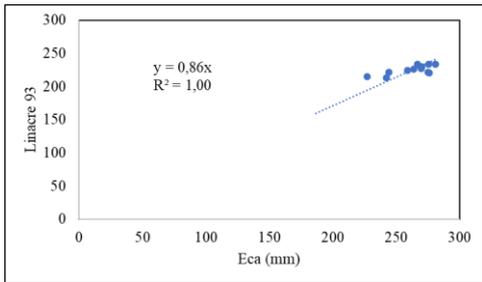
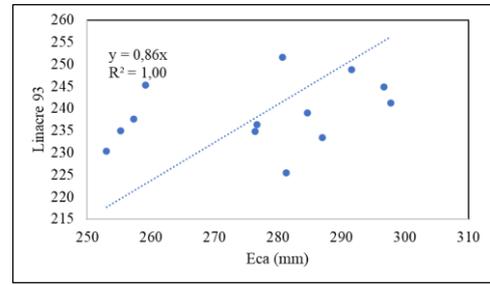
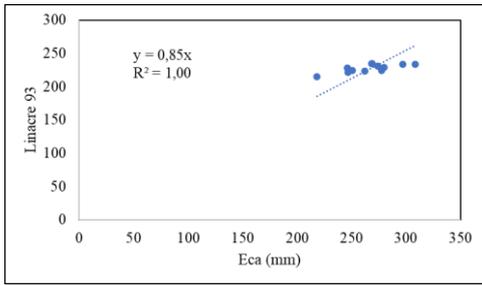
THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

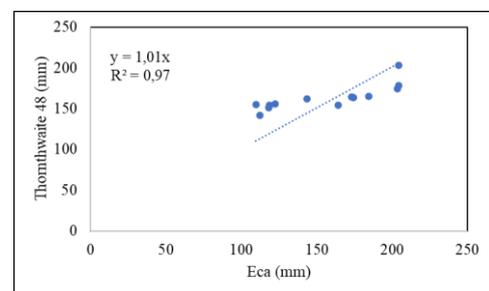
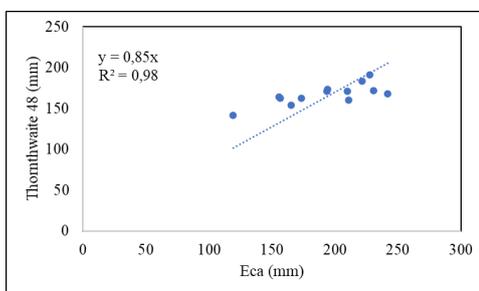
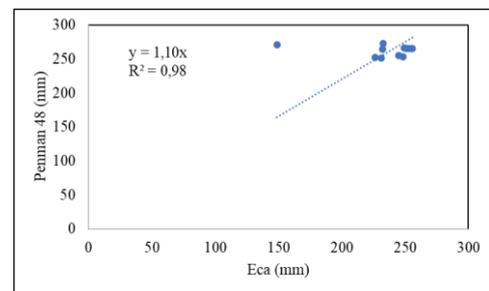
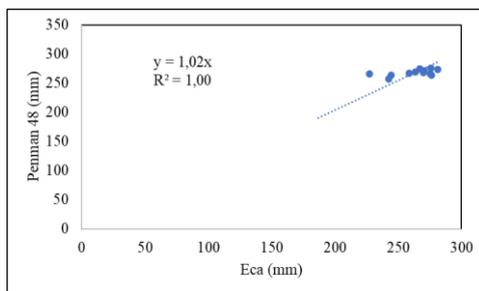
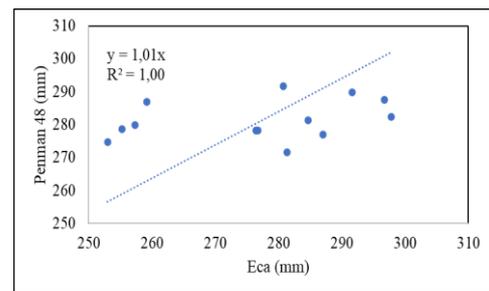
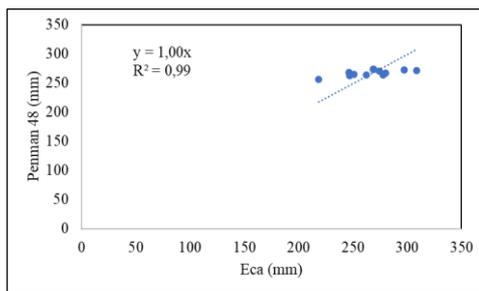
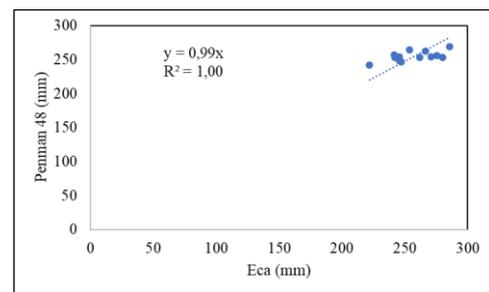
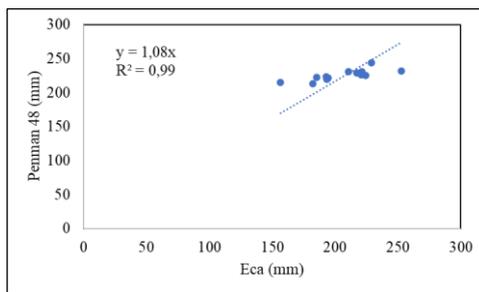
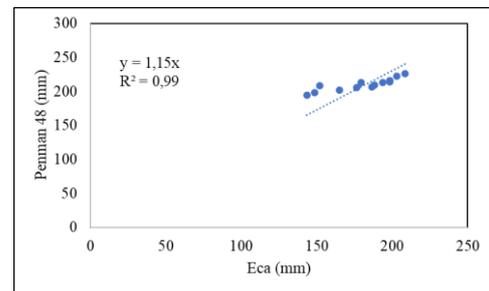
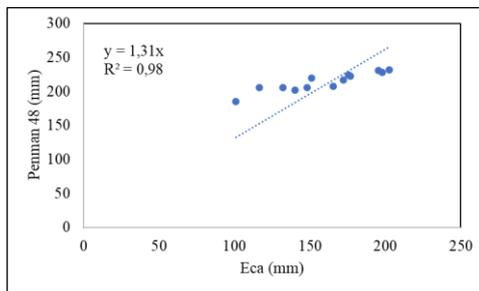
TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2004.943p.

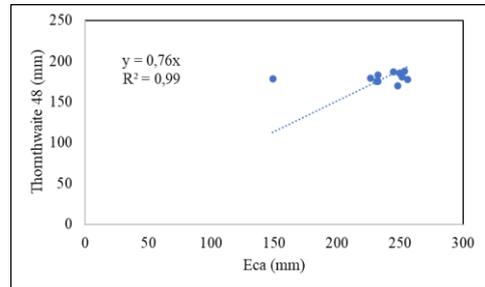
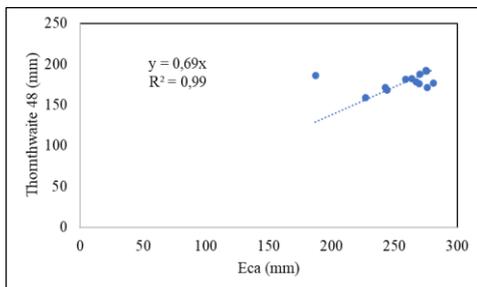
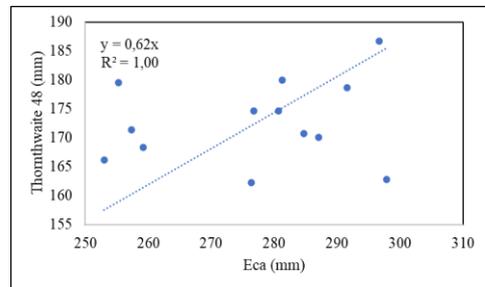
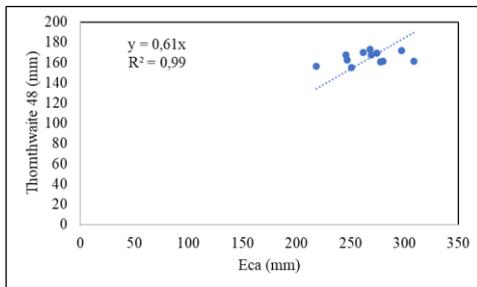
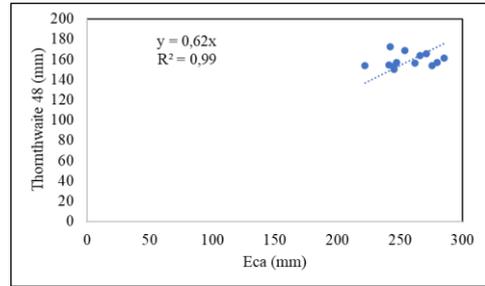
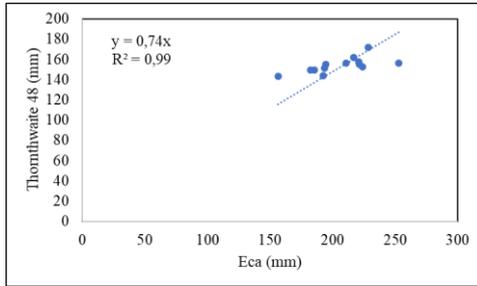
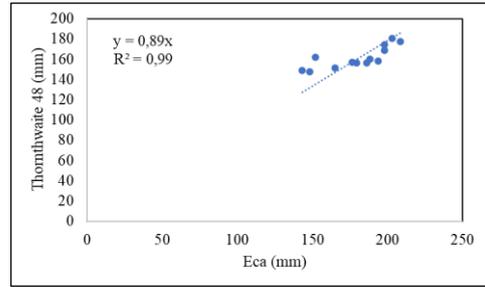
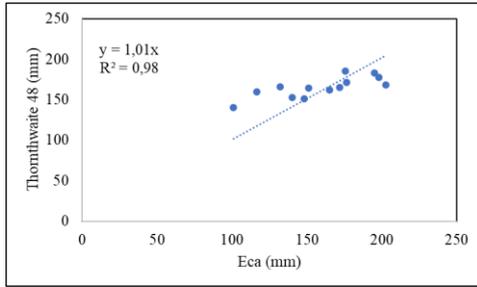
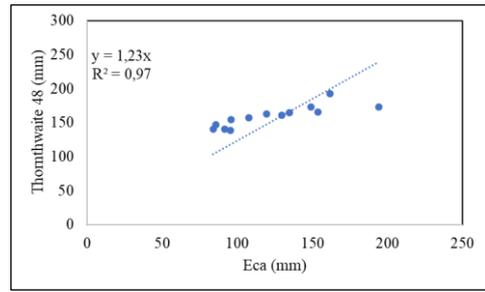
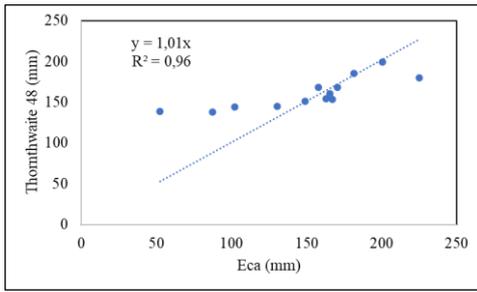
VIEIRA, Nayara Paula Andrade. **Estimativa da evaporação nos reservatórios de Três Marias – MG e Sobradinho – BA**. 2015. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7335>. Acesso em: 08 abr. 2020.

APÊNDICE A– REGRESSÕES LINEARES PARA COEFICIENTES MENSAIS GENERICOS (2007-2019)

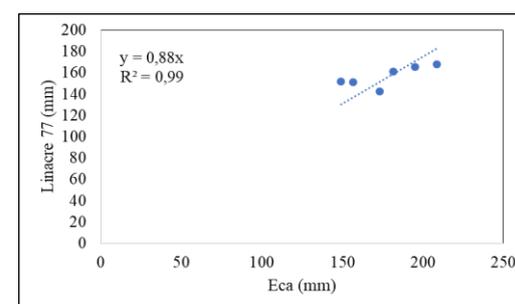
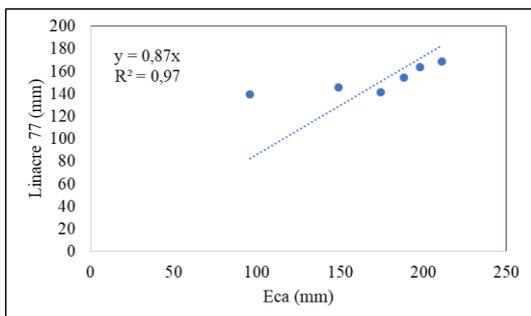
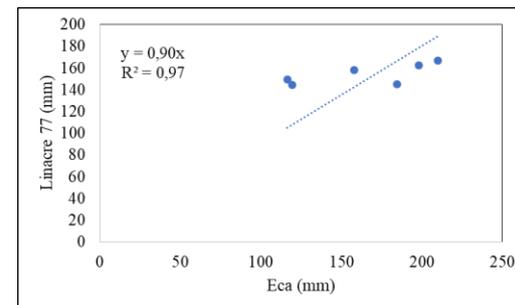
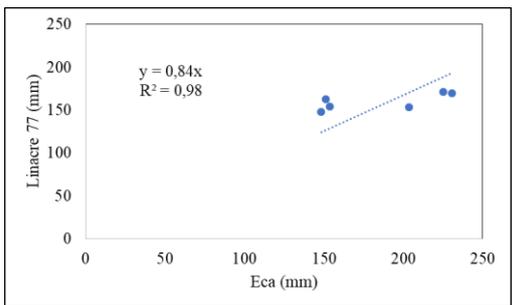
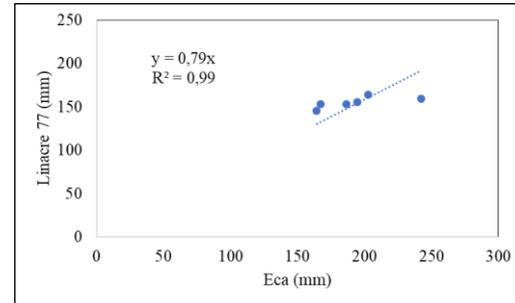
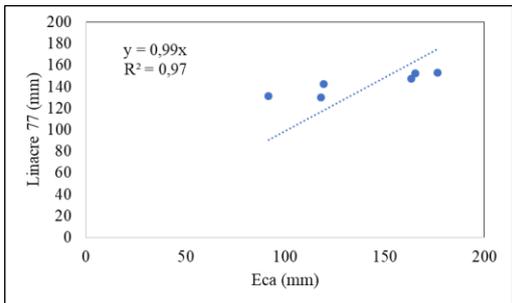
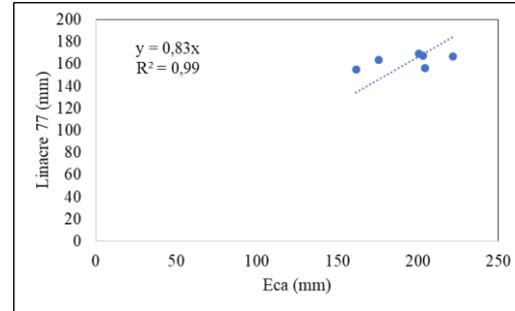
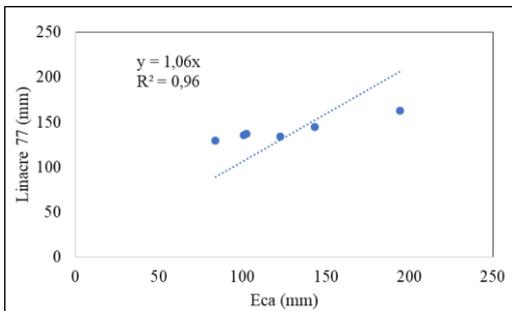
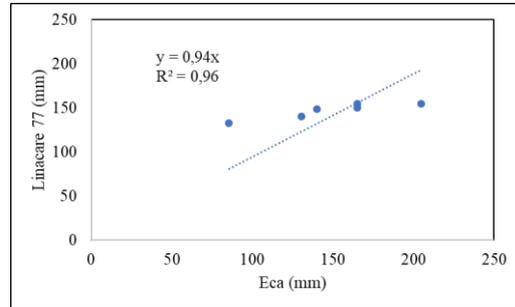
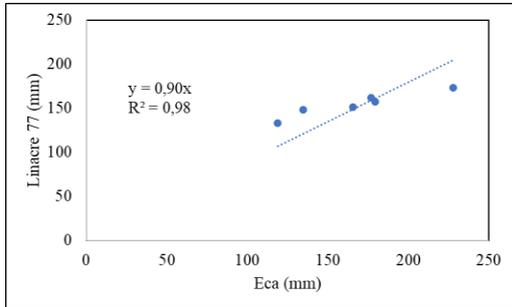


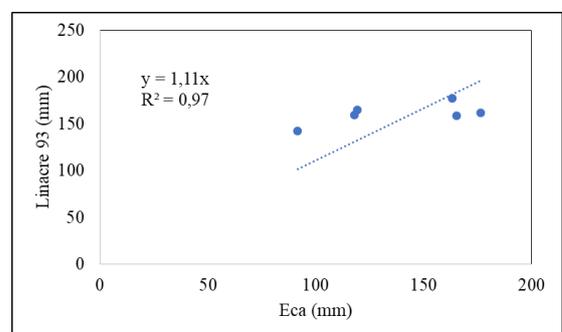
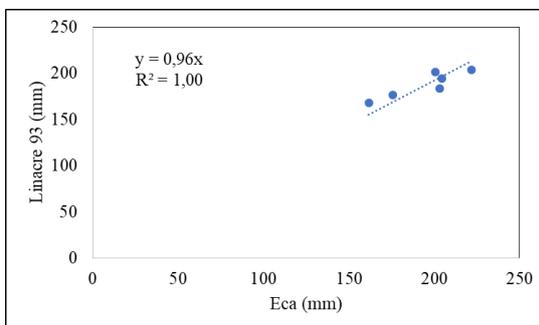
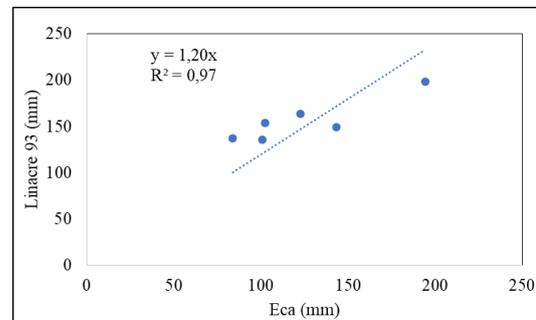
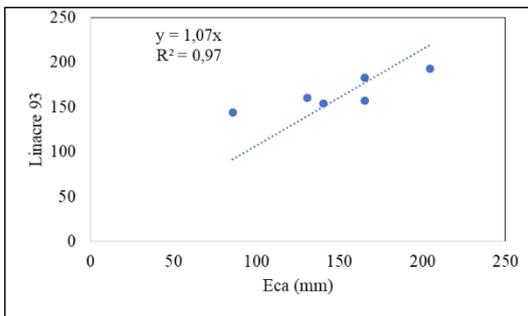
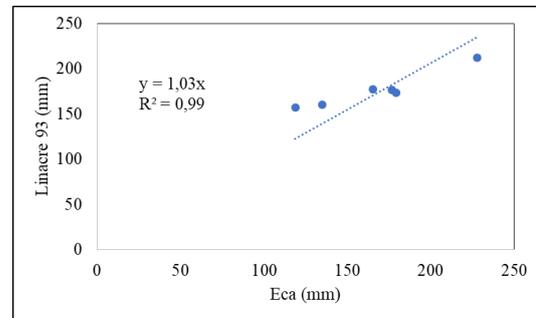
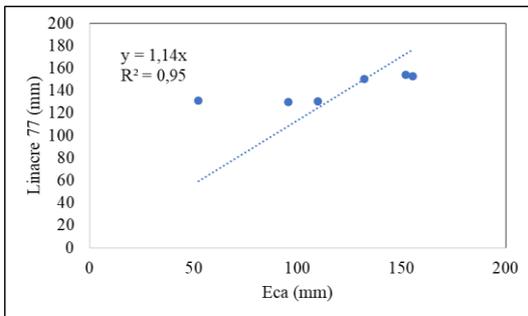
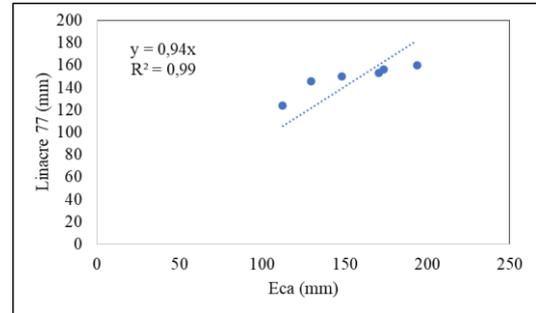
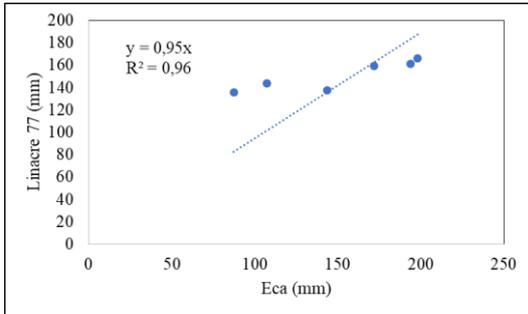


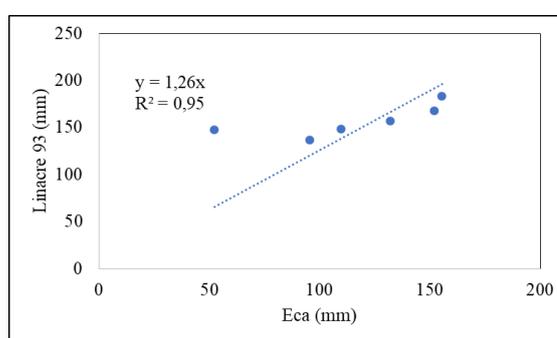
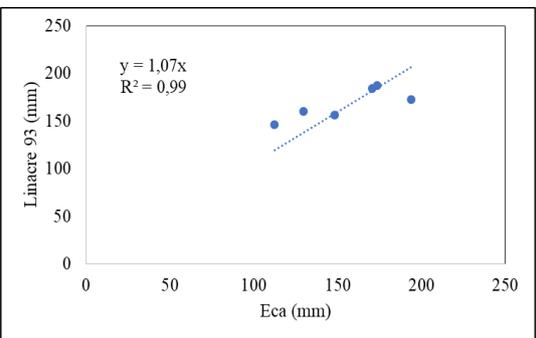
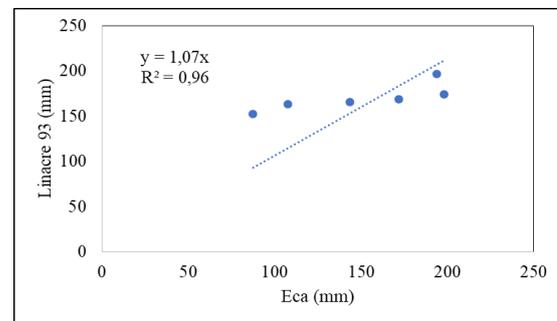
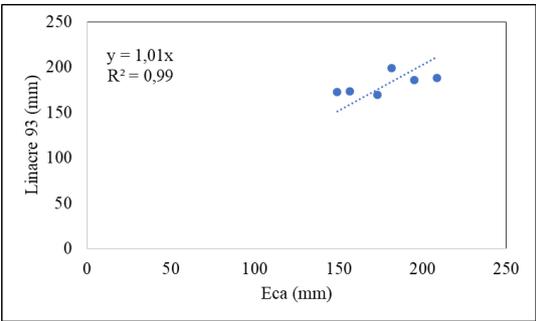
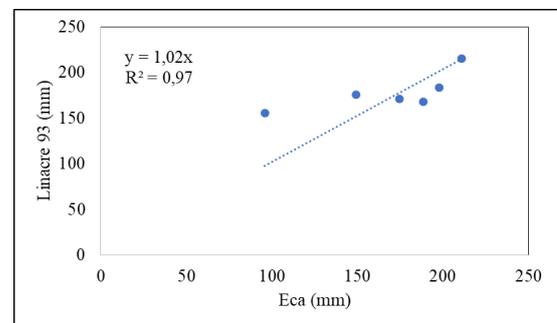
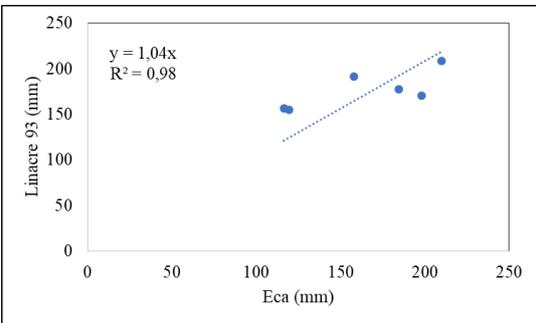
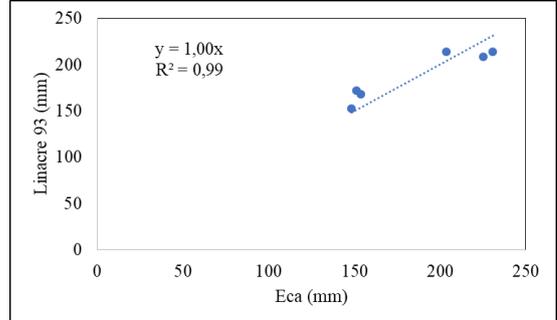
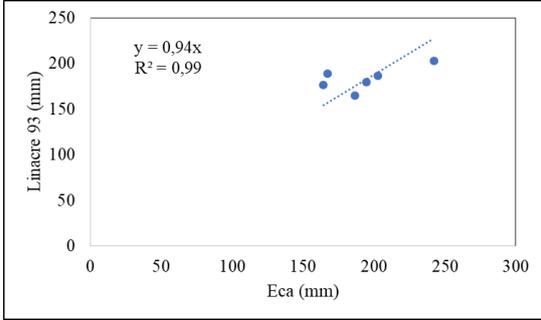


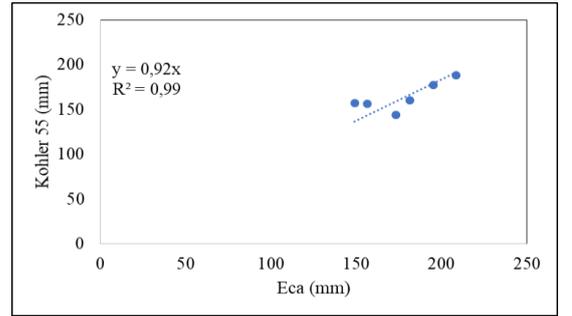
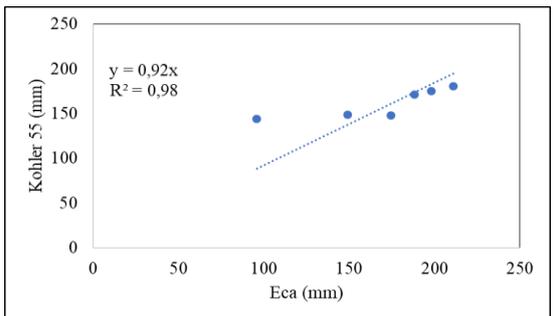
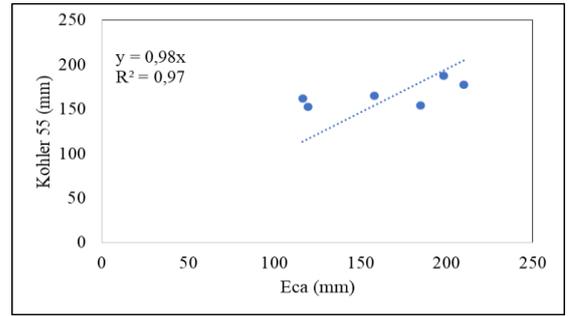
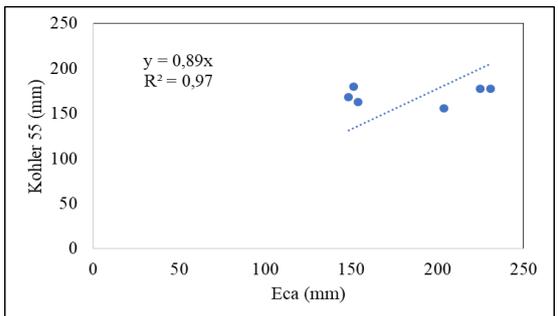
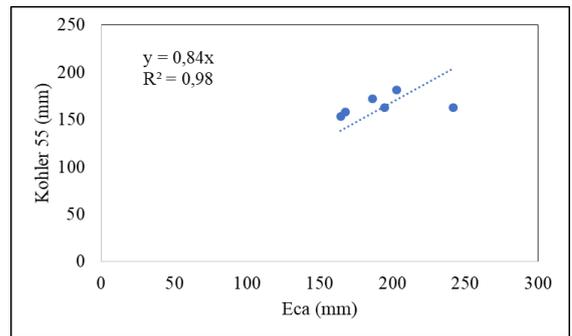
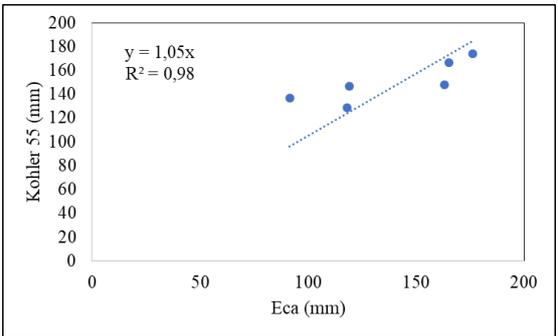
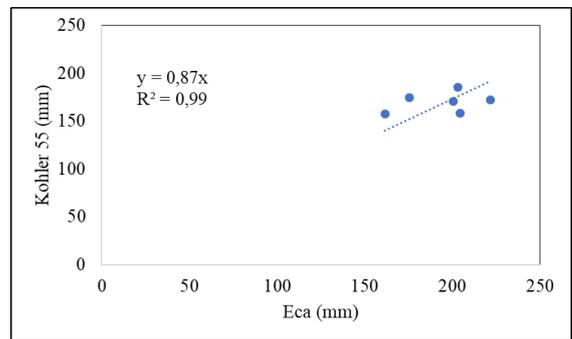
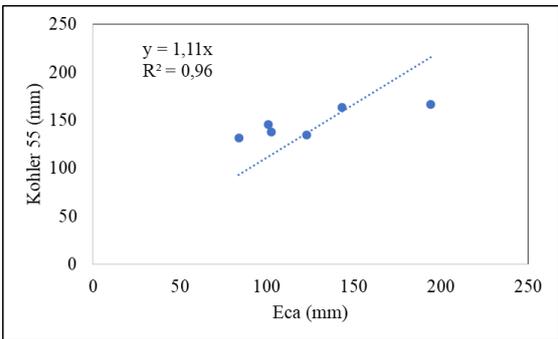
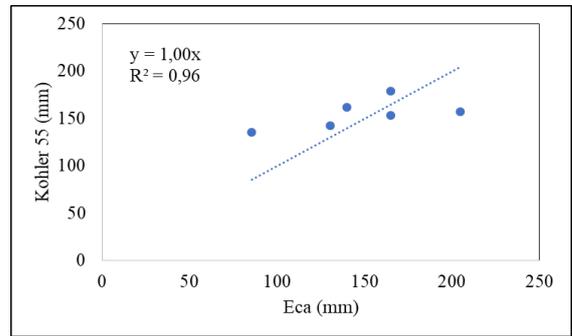
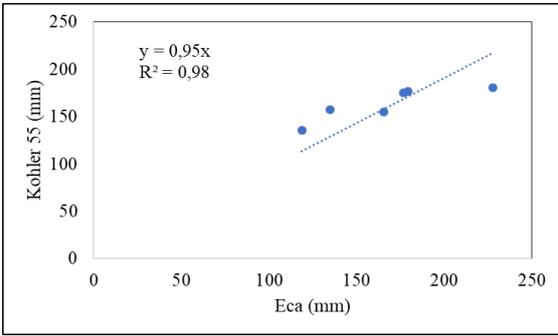


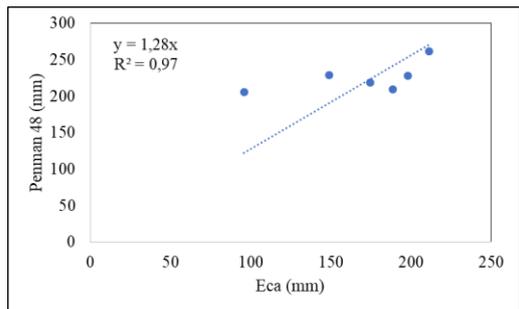
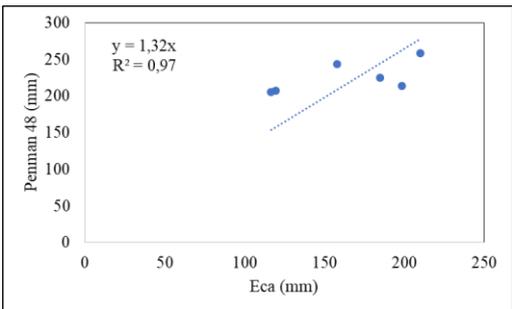
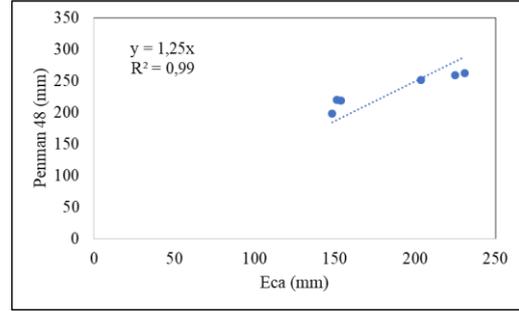
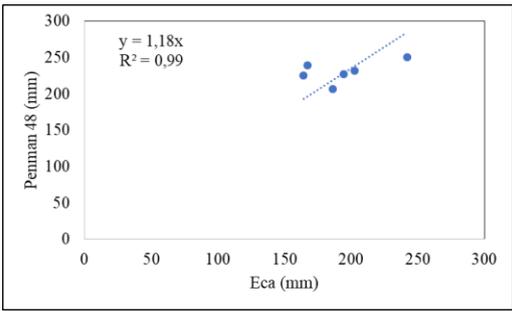
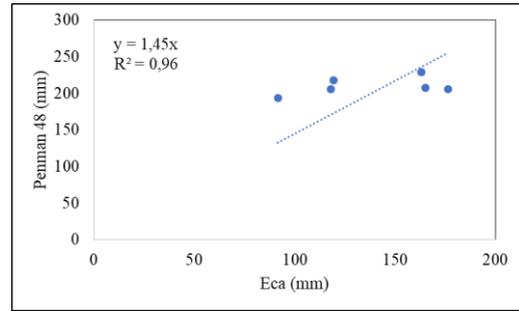
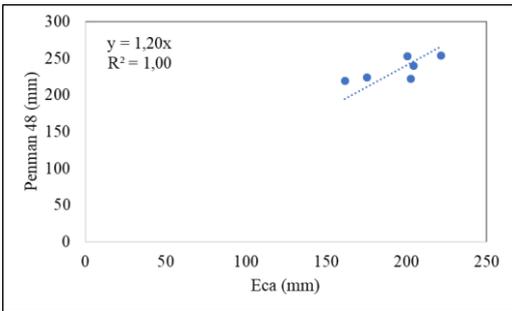
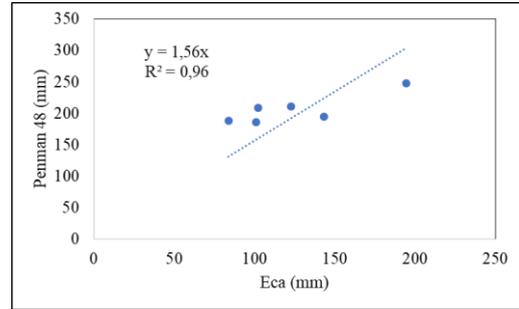
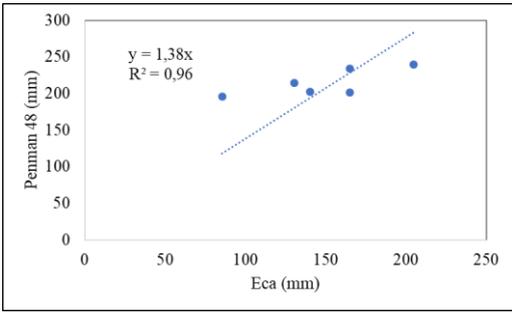
APÊNDICE B– REGRESSÕES LINEARES PARA COEFICIENTES SAZONAIS PERÍODO CHUVOSO

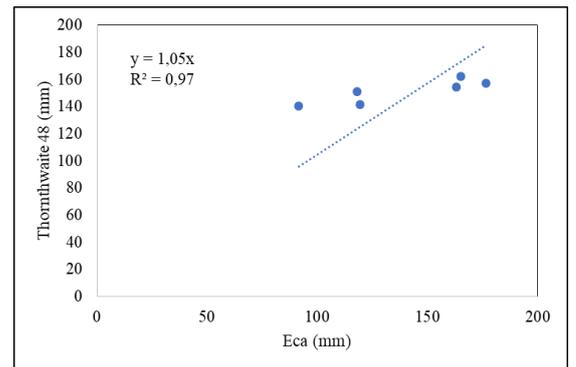
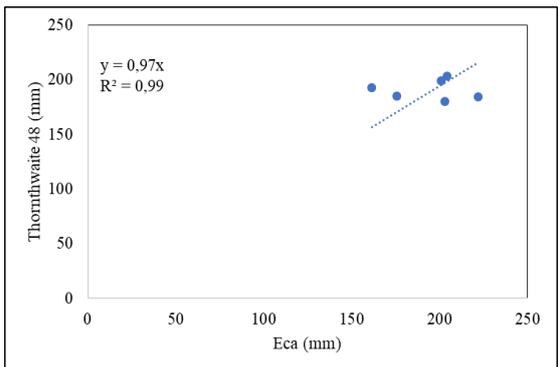
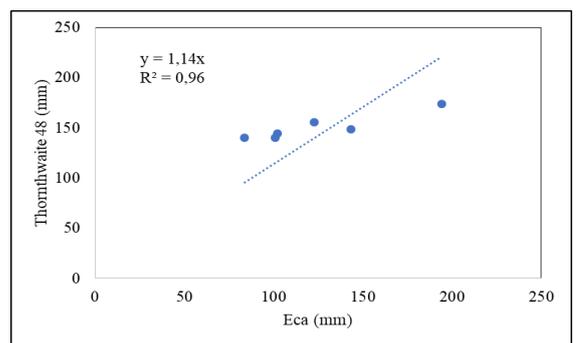
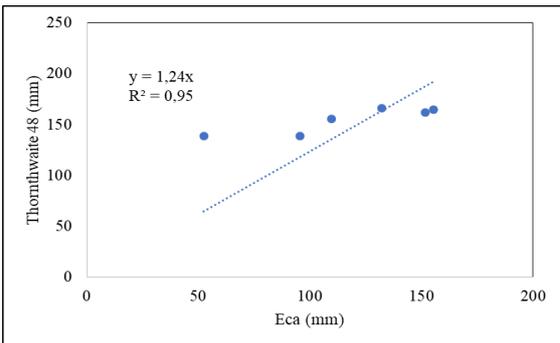
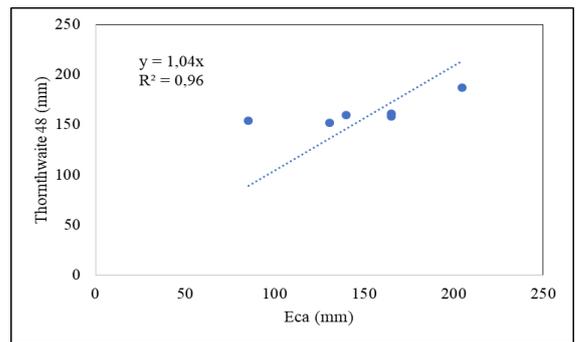
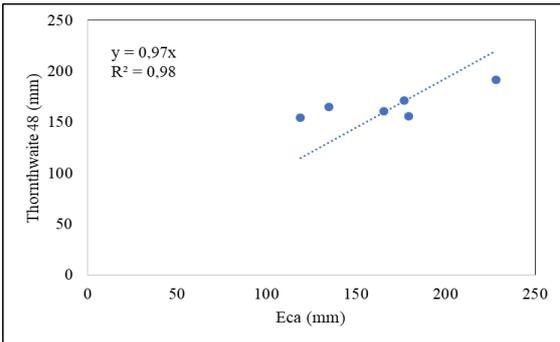
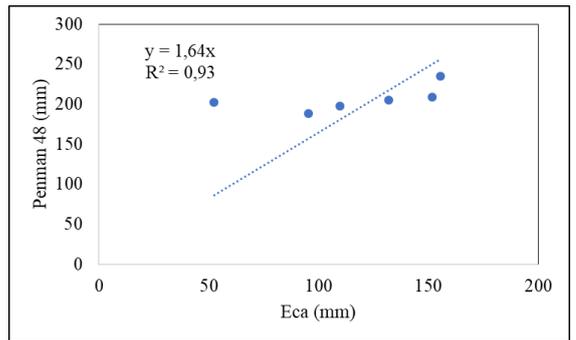
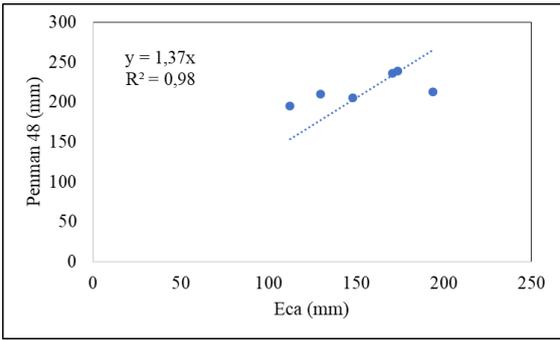
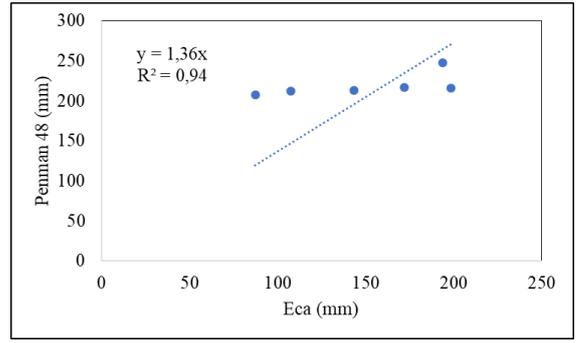
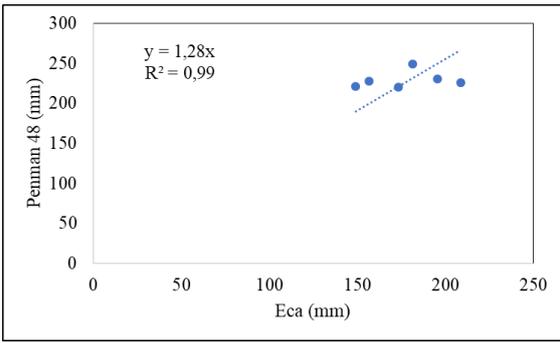




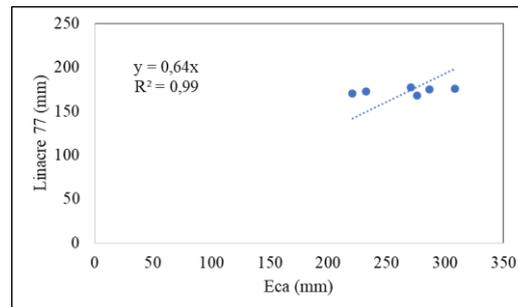
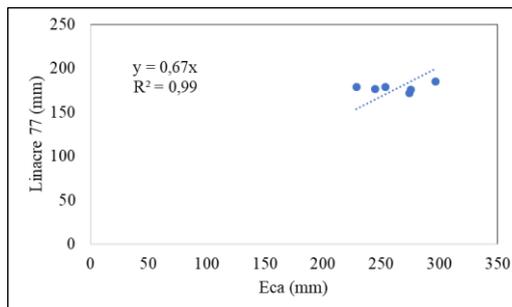
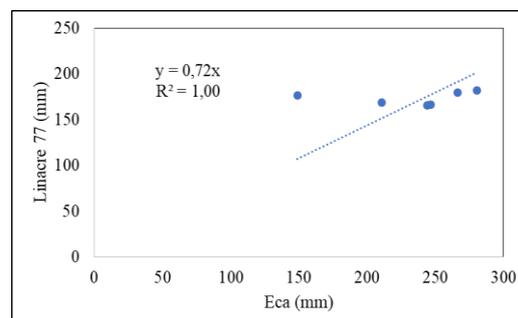
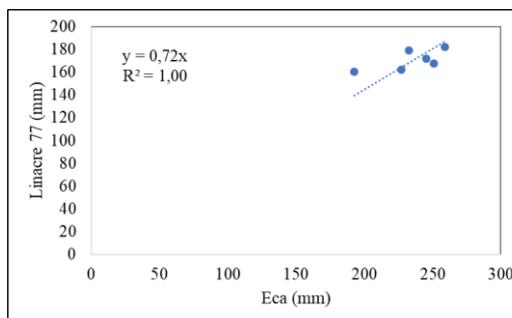
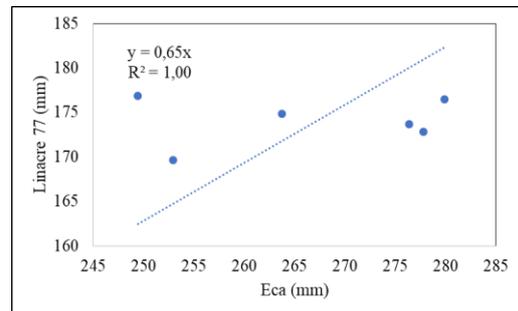
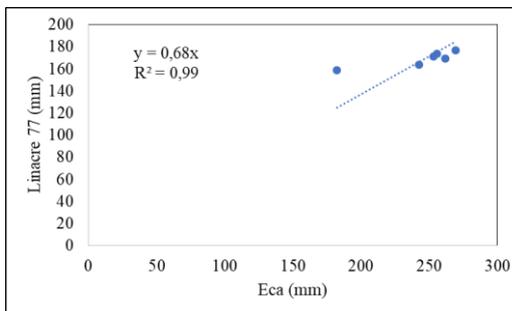
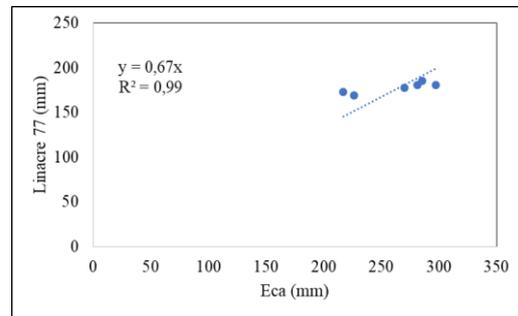
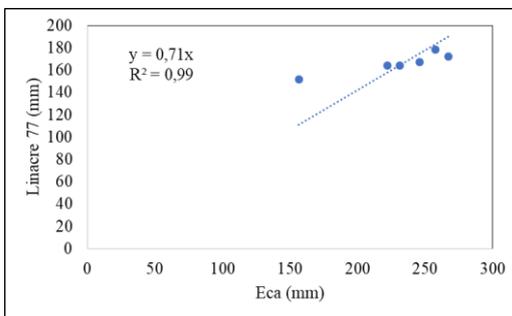
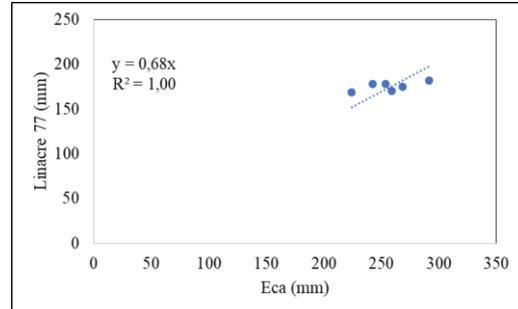
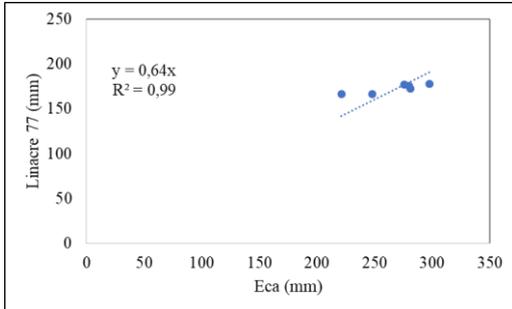


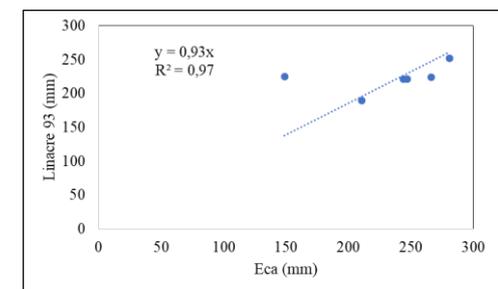
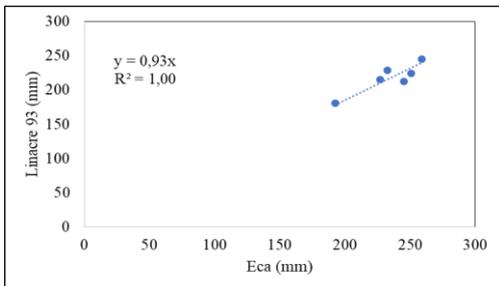
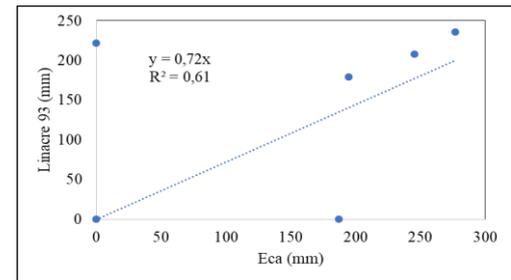
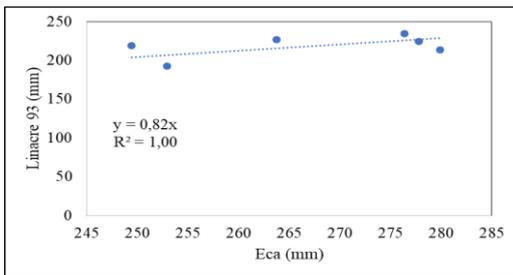
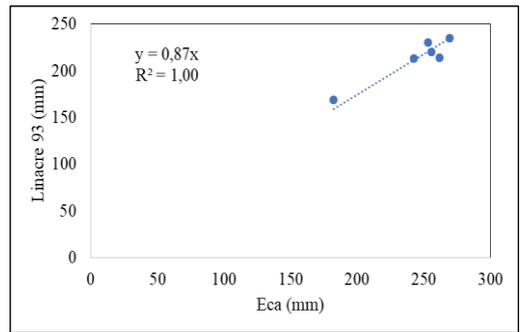
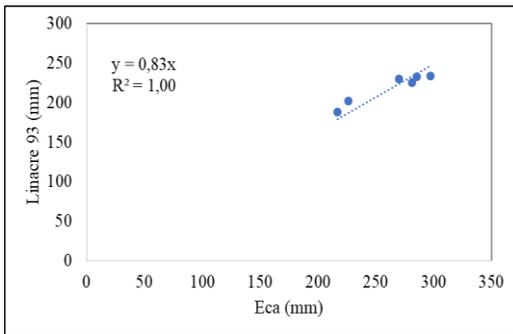
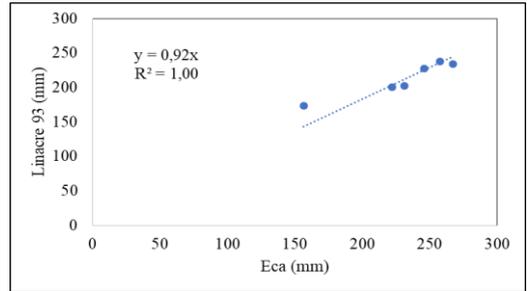
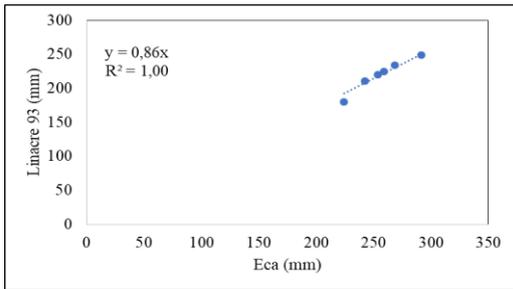
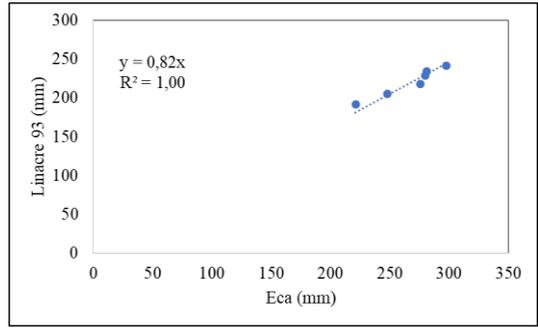
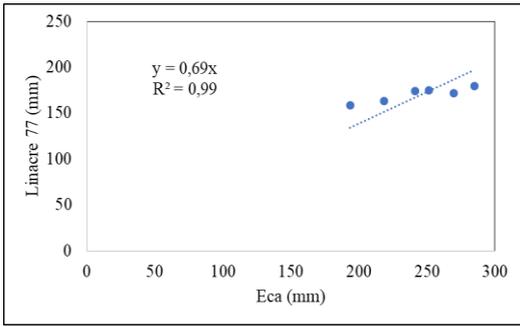


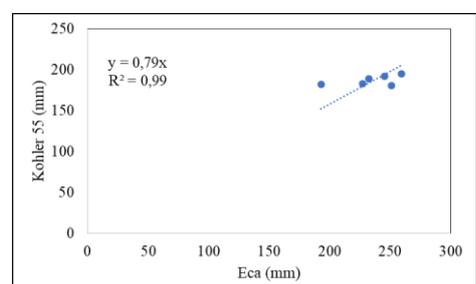
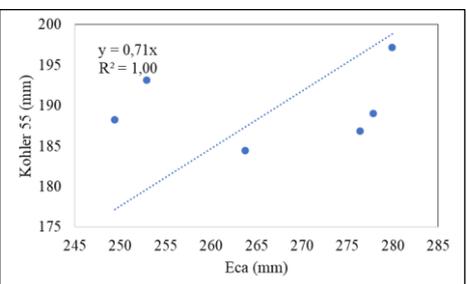
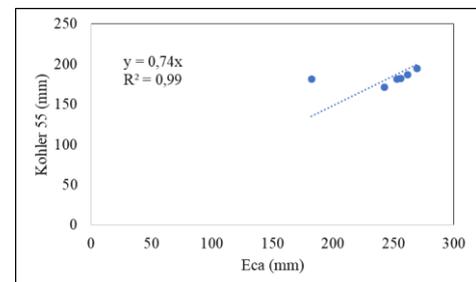
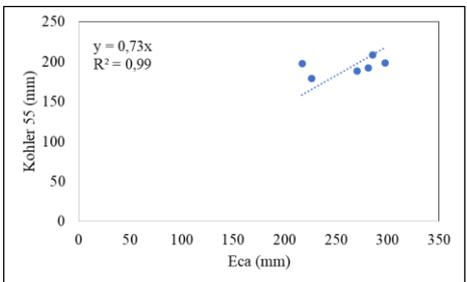
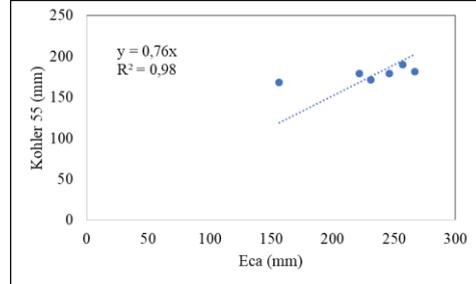
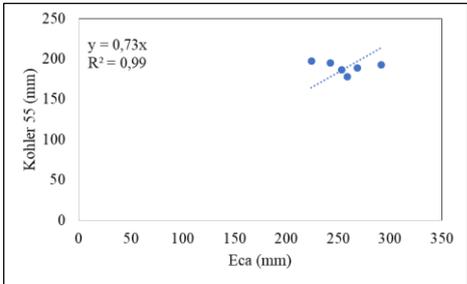
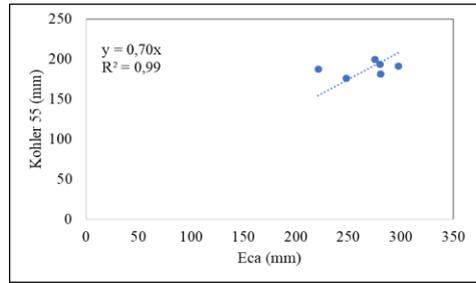
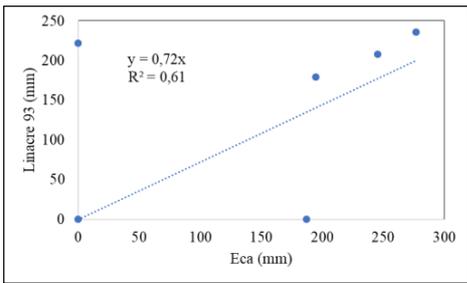
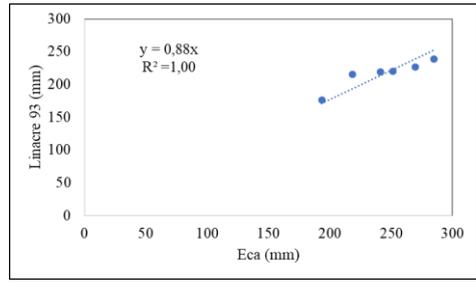
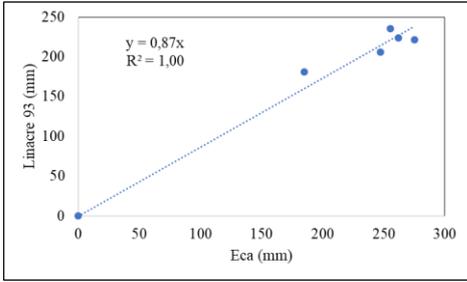
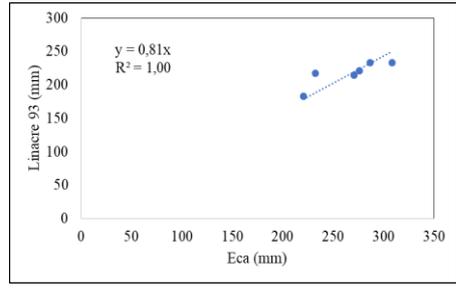
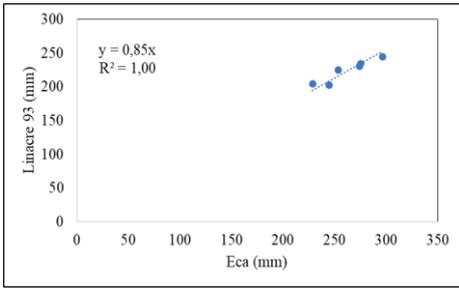


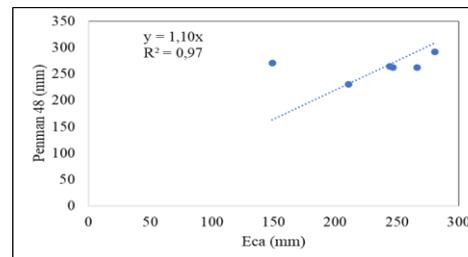
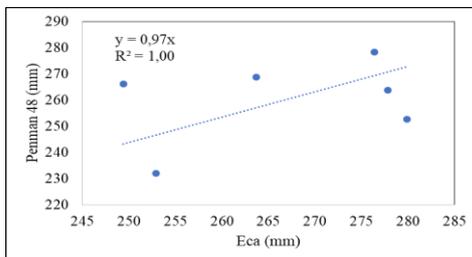
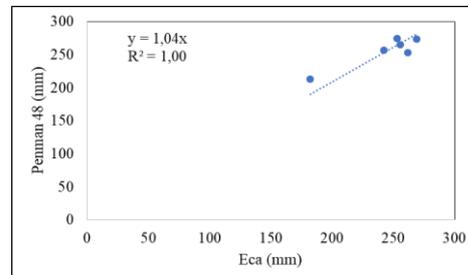
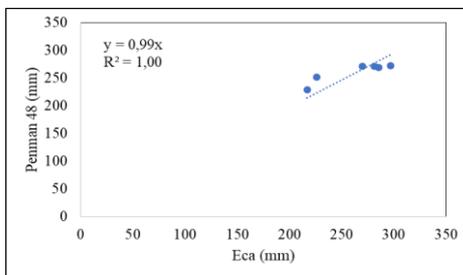
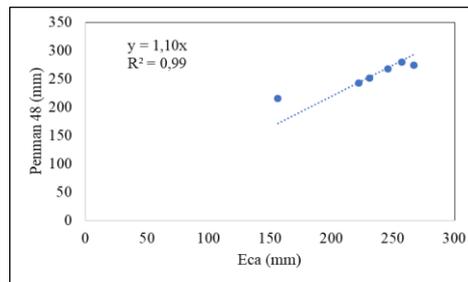
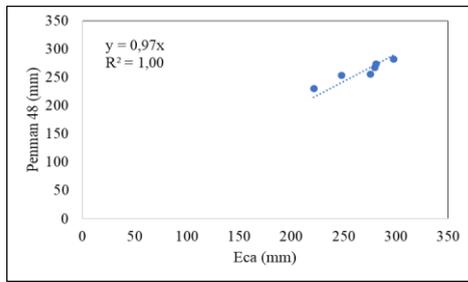
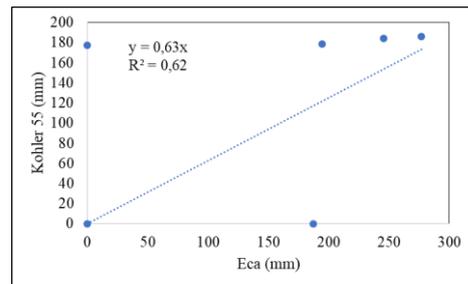
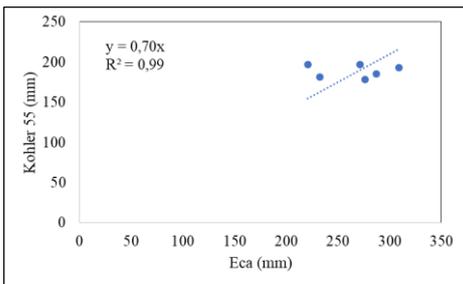
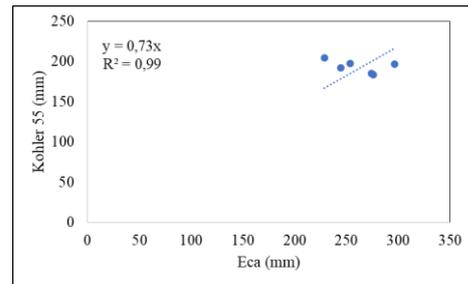
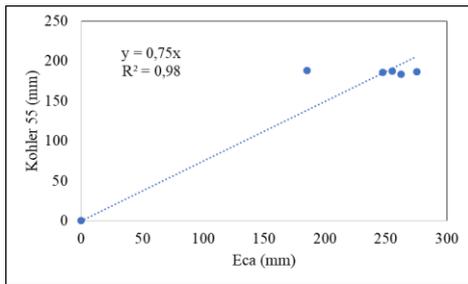
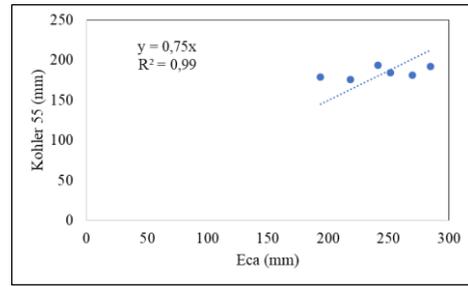
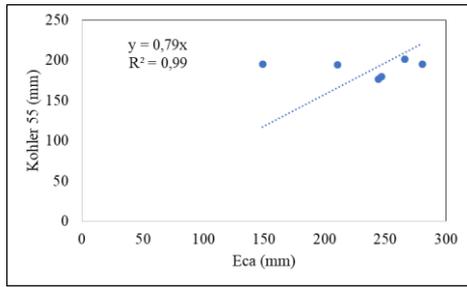


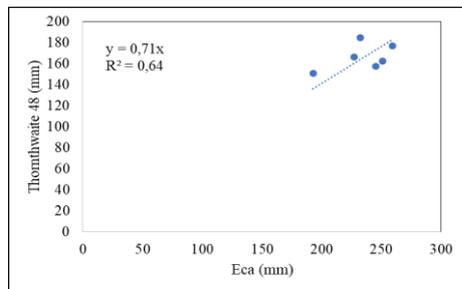
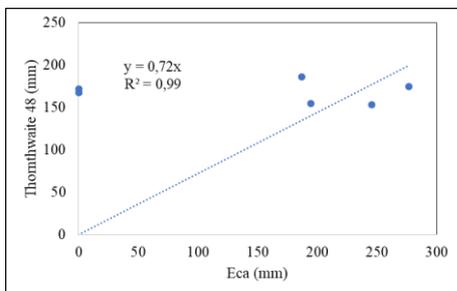
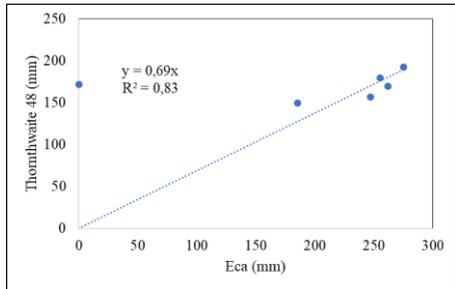
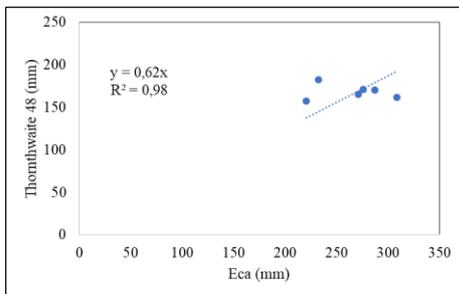
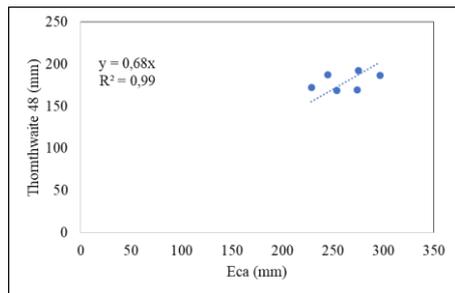
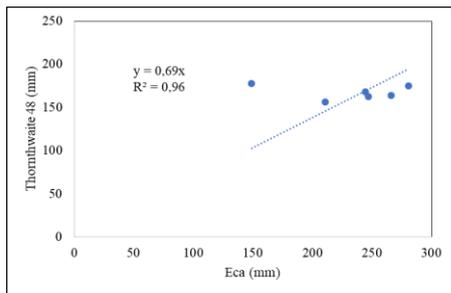
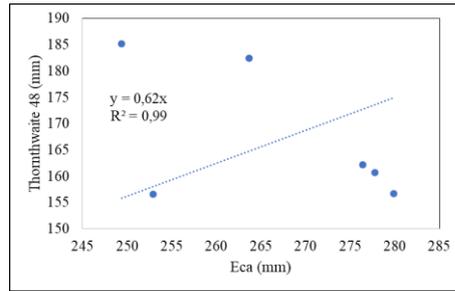
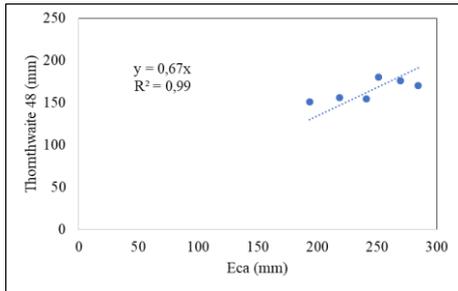
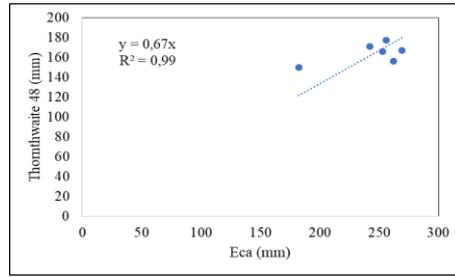
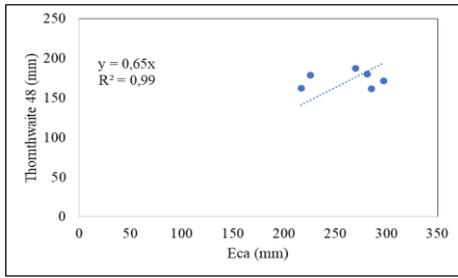
APÊNDICE C– REGRESSÕES LINEARES PARA COEFICIENTES SAZONAIS PERÍODO SECO











APÊNDICE D – REGRESSÕES LINEARES PARA COEFICIENTES ANUAIS

