

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – CECA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

WELLINGTON MANOEL DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO E HÍDRICA DA CULTURA DA PINHA EM RIO
LARGO, ALAGOAS

RIO LARGO – AL

2018

WELLINGTON MANOEL DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO E HÍDRICA DA CULTURA DA PINHA EM RIO
LARGO, ALAGOAS

Dissertação apresentada ao colegiado do curso de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. José Leonaldo de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Araújo Ferreira Júnior

RIO LARGO – AL

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

S237a Santos, Wellington Manoel dos

Avaliação de crescimento e hídrica da cultura da pinha em Rio Largo, Alagoas. Rio Largo - AL – 2018.
61 f.; il; 33 cm

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.

Orientador(a): Prof. Dr. José Leonaldo de Souza.

Co-Orientador(a): Prof. Dr. Ricardo Araújo Ferreira Júnior.

1. Annona squamosa L. 2. Evapotranspiração. 3. Manejo da água.

I. Título.

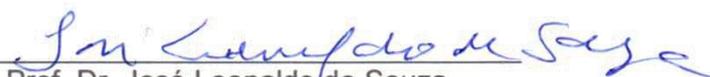
CDU: 631.67: 634.41

TERMO DE APROVAÇÃO

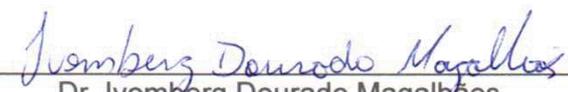
WELLINGTON MANOEL DOS SANTOS
(Matrícula 16130093)

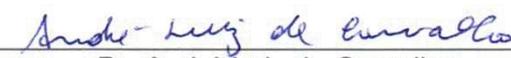
“Avaliação de crescimento e hídrica da cultura da pinha em Rio Largo - Alagoas”

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em seis de setembro de 2018, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.


Prof. Dr. José Leonaldo de Souza
Presidente


Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
Membro


Dr. Ivomberg Dourado Magalhães
Membro


Dr. André Luiz de Carvalho
Membro

Rio Largo - AL
Setembro/2018

A Deus, que sempre me deu forças para vencer na vida;

A toda minha família e amigos, em especial aos meus pais (Maria Antônia dos Santos e Manoel Antônio dos Santos), a meus irmãos (Elisângela Santos, Lúcio Santos, Marlúcio Santos, Patrícia Santos, Rosângela Santos e Wagner Santos) que sempre me apoiaram em todos os momentos.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado e iluminado a cada passo dessa jornada de mestrado;

A Universidade Federal de Alagoas – UFAL, e ao Centro de Ciências Agrárias de Alagoas – CECA;

A toda coordenação e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal;

Aos meus orientadores Professores Drs. José Leonaldo de Souza e Ricardo Araújo Ferreira Júnior, pelos ensinamentos, instruções e amizade;

Ao Professor Dr. Eurico Eduardo Pinto Lemos e Renan Cantalice de Souza por suas contribuições nesse trabalho;

Ao doutorando Cícero Geraldo Gualter dos Santos pela partilha do experimento;

Aos demais professores da Pós-Graduação em Agronomia: Eurico Lemos, Vilma Marques, Laurício Endres, José Vieira, Paulo Vanderlei, Guilherme Bastos, Jorge Lins e outros;

Ao grande amigo Ricardo Barros Silva por sua amizade, convívio ao longo da jornada e grande ajuda na condução desse trabalho;

Aos colegas de turma: Antônio Barbosa, José Dailson, Juliany Barros, Lekson Rodrigues, Renato Vieira, Ricardo Silva, pelo convívio;

Ao funcionário Luiz Leão que sempre esteve a contribuir na execução da pesquisa;

A Fundação de Amparo a Pesquisa de Alagoas (FAPEAL), pelo financiamento da bolsa no período de três meses;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento de bolsa de mestrado.

Muito obrigado!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui experimental do pomar de pinha, variedade “crioula”, com plantas avaliadas em destaque.	24
Figura 2. Técnica da poda, o “desponte”, em plantas de pinha irrigada aos 150 DAT (A), e 300 DAT (B).	25
Figura 3. Análise biométrica, altura de planta (A) e índice de área foliar (B), na cultura da pinha irrigada no período de setembro de 2016 a janeiro de 2017.	28
Figura 4. Relação entre a análise de crescimento (Altura de planta (A), diâmetro do dossel (B) e índice de área foliar (C)) com Graus-dia acumulado (GDA) na cultura da pinha, durante o período de avaliação experimental (setembro de 2016 a janeiro de 2017).	34
Figura 5. Relações entre a ETo 1 estimada por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e: A) ETo 2 por PM-FAO e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; B) ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; C) ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; D) ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani, entre setembro de 2016 a janeiro de 2017.	36
Figura 6. Relação entre o Kc com a análise de crescimento, altura de planta, sob o método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) no período de avaliação (setembro de 2016 a janeiro de 2017).	40
Figura 7. Relação entre o Kc com a análise de crescimento, índice de área foliar, sob o método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) no período de avaliação (setembro de 2016 a janeiro de 2017).	42
Figura 8. Relação entre o coeficiente da cultura (Kc) com a análise de crescimento, diâmetro do dossel, sob o método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) no período de avaliação (setembro de 2016 a janeiro de 2017).	44

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Médias mensais dos elementos meteorológicos: umidade relativa do ar máxima (URmax) e mínima (URmin), velocidade do vento (U2), temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin), precipitação (P) e irradiação solar global (Hg), durante o período experimental de setembro de 2016 a janeiro de 2017..... 27
- Tabela 2. Valores periódicos dos coeficientes da cultura (Kc) da pinha, obtidos por ETo 1 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO); ETo 2 por PM-FAO e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani..... 38
- Tabela 3. Índices estatísticos de concordância do Kc pelo método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) em relação ao Kc obtido por ETo 2 por PM-FAO e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani..... 39
- Tabela 4. Relação entre as alturas de plantas de pinheiras e o coeficiente da cultura (Kc) por diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência: ETo 2 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani..... 41
- Tabela 5. Relação entre o índice de área foliar das plantas de pinheiras e o coeficiente da cultura (Kc) por diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência: ETo 2 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani..... 43
- Tabela 6. Relação entre o diâmetro do dossel das plantas de pinheiras e o coeficiente da cultura (Kc) por diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência: ETo 2 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani..... 45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Cultura da Pinha	14
3.2 Variáveis de Crescimento e Ambiental.....	16
3.3 Balanço Hídrico de Sistemas Vegetais.....	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Área Experimental e Implantação do Pomar	23
4.2 Poda	25
4.3 Dados Meteorológicos	26
4.4 Medidas Biométricas.....	27
4.5 Graus-dia	28
4.6 Coeficiente de cultivo (Kc) e Evapotranspiração da Cultura (ETc)	29
4.7 Balanço Hídrico no Cultivo	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 Variáveis de Crescimento	33
5.2 Evapotranspiração de Referência (ETo)	35
5.3 Coeficientes da Cultura (Kc)	37
5.4 Coeficiente da cultura (Kc) x Biometria	40
5.5 Coeficiente da Cultura (Kc) x Graus-dia e Dias Após o Transplântio.....	45
5.6 Balanço Hídrico.....	49
6. CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54

RESUMO

A cultura da pinha é de grande interesse para muitos produtores rurais do estado em função dos bons preços alcançados no mercado, da possibilidade de produção em diferentes épocas do ano e da possibilidade de produzir duas safras anuais quando manejada adequadamente sob irrigação. Poucos são os estudos, relacionados ao conteúdo de água no solo e evapotranspiração dessa cultura, especialmente no estado de Alagoas. Sendo assim, realizou-se uma pesquisa de campo entre abril de 2016 e janeiro de 2017, com o objetivo de analisar variáveis de crescimento e condições hídrica na cultura. O pomar foi instalado em uma área de 1008 m², com espaçamento entre plantas de 3,0 x 3,0 m a um total de 112 plantas utilizando a variedade crioulas. Avaliaram-se o seguinte: altura de plantas, índice de área foliar, diâmetro do dossel, graus-dia acumulados, métodos de evapotranspiração de referência (ET_o), coeficiente da cultura (K_c) e balanço hídrico. A análise estatística foi realizada através dos índices estatísticos: coeficiente de correlação (r), índice de concordância de Willmott (d) e raiz do erro quadrático médio (RMSE). A estimativa de ET_o pelos diferentes métodos, apresentou uma ET_o média de 5,00 mm dia⁻¹ para o método padrão ET_o 1, 5,74; 5,38; 6,45 e 5,86 respectivamente para os demais métodos, ET_o 2, ET_o 3, ET_o 4 e ET_o 5. Assim como, uma altura de plantas máxima de 1,02 m, IAF máximo de 0,52, diâmetro do dossel máximo de 0,35 m e um K_c médio de 1,13 pelo método padrão de estimativa de ET_o. O balanço hídrico estabelecido foi o de Thornthwaite e Mather, 1955 em que, apresentou um armazenamento observado médio de 16,42 mm e o estimado pela TDR de 17,42 mm.

Palavras-Chave: *Annona squamosa* L., evapotranspiração, manejo da água.

ABSTRACT

The pine crop is of great interest to many farmers in the state due to the good prices achieved in the market, the possibility of production at different times of the year and the possibility of producing two annual crops when managed and under irrigation. There are few studies, related to soil water content and evapotranspiration of this crop, especially in the state of Alagoas. Therefore, a field survey was carried out between April and 2016 and January 2017, with the objective of analyzing growth variables and water conditions in the crop. The orchard was installed in an area of 1008 m², spacing between plants of 3.0 x 3.0 m with a total of 112 plants that use the area of creole. Evaluating the following: plant height, leaf area index, canopy diameter, accumulated degrees-day, reference evapotranspiration (ET_o) methods, crop coefficient (K_c) and water balance. Statistical analysis was performed using the statistical indices: correlation coefficient (r), Willmott concordance index (d) and root mean square error (RMSE). The estimation of ET_o by the different methods presented an average ET_o of 5.00 mm day⁻¹ for the standard method ET_o 1, 5.74; 5.38; 6.45 and 5.86 respectively for the other methods, ET_o 2, ET_o 3, ET_o 4 and ET_o 5. As well as a maximum plant height of 1.02 m, maximum LAI of 0.52, maximum canopy diameter of 0.35 m and an average K_c of 1.13 by the standard ET_o estimation method. The established water balance was that of Thornthwaite and Mather, 1955 in which, it presented an average observed storage of 16,42 mm and the estimated by the TDR of 17,42 mm.

Key words: *Annona squamosa* L., evapotranspiration, water management.

1. INTRODUÇÃO

A pinheira (*Annona squamosa* L.) pertence à família das anonáceas de maior importância econômica no Brasil. É no Nordeste que o seu cultivo tem se mantido em intenso crescimento, apresentando mais de 90% de toda área cultivada do país (LEMOS, 2014). De acordo com Oliveira et al. (2005), a pinheira é uma fruteira tropical cultivada no estado de Alagoas há mais de um século. Os municípios de Palmeira dos Índios, Estrela de Alagoas e Igaci destacam-se como regiões produtoras no estado.

O estado da Bahia apresenta-se como o principal produtor de pinha do Brasil, com área cultivada de aproximadamente 3.500 hectares (ha) e produção de 20,8 mil toneladas (t) em 2013. A região semiárida, especificamente no município de Presidente Dutra, segundo dados do GCEA/IBGE (2013), possui uma área de 700 ha de pinheiras irrigadas e 1.800 ha de cultivo em sequeiro, destacando-se, como a principal região produtora do estado (FERREIRA et al., 2010). Alagoas, no ano de 2012, dados do GCEA/IBGE (2013), detinha cerca de 884 ha com o cultivo de pinha, chegando a obter uma produção de 442 t e um rendimento de 4,5 t ha⁻¹.

Apesar da grande importância da produção de pinha, principalmente por seu consumo “in natura” verifica-se que poucos estudos, de cunho científico, têm sido desenvolvidos no estado de Alagoas. Especialmente aqueles relacionados com coeficiente de cultivo (Kc), evapotranspiração (ET), balanço hídrico (BH), desenvolvimento e produção.

O cultivo da pinheira, na maioria das regiões produtoras comerciais brasileiras, é realizado com variedades “crioulas” o que torna importante, em termos de sustentabilidade da cadeia de produção desta frutífera, a avaliação de novos materiais genéticos, principalmente porta-enxertos resistentes às adversidades locais, pragas e doenças, e principalmente ao déficit hídrico (LEMOS, 2014).

No Nordeste brasileiro onde há irregularidade na distribuição de chuvas, a única forma para produção de pinha durante todo o ano é a utilização da irrigação (CARLSON et al., 2007). A irrigação na pinheira ainda é pouco realizada, e geralmente não se tem um manejo correto, entretanto é importante definir a quantidade exata e a época de fornecimento de água às plantas, principalmente em cada fase fenológica, uma vez que quando mal fornecida, poderá desencadear uma série de desequilíbrios fisiológicos e morfológicos. O fornecimento de água desempenha importante papel, pois tem grande influência no crescimento e

desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, faz-se necessário um estudo a respeito da evapotranspiração da cultura (ETc) que corresponde a necessidade de água da cultura sob condições ideais para o crescimento, uma vez que para sua determinação é necessário um manejo correto da cultura.

A evapotranspiração da cultura (ETc) pode é obtida a partir da evapotranspiração de referência (ETo) e do ajuste com um coeficiente da cultura (Kc), sendo este último de fundamental importância para o manejo de irrigação da cultura. Sabendo da importância do cultivo dessa cultura, fazem-se necessário estudo referente ao desenvolvimento da cultura e balanço hídrico, uma vez que na literatura pouco são os materiais, referentes à cultura da pinha.

2. OBJETIVOS

Geral: Avaliar o crescimento e o balanço hídrico em cultivo de pinha na fase inicial de crescimento na região de Rio Largo em Alagoas.

Específicos:

- a) Avaliar métodos de evapotranspiração de referência
- b) Avaliar variáveis de crescimento da cultura da pinha, relacionando com exigências térmicas e hídricas;
- c) Determinar coeficiente da cultura;
- d) Determinar balanço hídrico no cultivo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cultura da Pinha

A pinheira (*Annona squamosa* L.) é originária da América do Norte e Central, fruta indígena que se desenvolve em climas tropicais (MOSCA et al., 2006). No Brasil, sua introdução foi feita pelo Conde Diego Luiz de Miranda por volta de 1626, a partir de sementes trazidas da América Central, e por esse motivo, ficou conhecida como “fruta-do-conde” (PINTO et al., 2005).

A produção de pinha, no ano de 2006, do Nordeste era a maior do Brasil, apresentando 94% de toda a área plantada, com uma produção de 19.984 toneladas (t) e um rendimento de 4,32 t ha⁻¹ (IBGE, 2009). Dados de 2012 revelam que o Nordeste continua sendo a região mais produtora de pinha do país, sendo Bahia, Alagoas, Ceará e Pernambuco os maiores produtores. Estados como São Paulo e Minas Gerais também apresentam produção de 95,0 t no ano de 2012 e um rendimento de 6,33 t ha⁻¹ dessa cultura (LEMOS, 2014).

No que se refere a produção por estado, a Bahia apresenta a maior produtividade de pinha. Conforme CGEA/IBGE, 2013 e Pereira et al. (2010), o município de Presidente Dutra, localizado na zona semiárida, possui em torno de 2.500 ha de pinha, sendo 700 ha irrigada e 1.800 de sequeiro com uma produção no ano de 2013 em 21.250 t.

A fruto da pinha é destinada para diversos fins, tais como sucos, doces, geleias, licores e na indústria farmacêutica, porém, sua principal finalidade é o consumo *in natura*, sua comercialização ocorre nos mercados e feiras livres, comercializada geralmente como fruto de mesa. Como ocorre geralmente com outros produtos, na comercialização a qualidade da pinha está associada ao tamanho, simetria e sanidade, estes são os aspectos decisivos para sua comercialização (ARAÚJO et al., 2008).

Em Alagoas o cultivo da pinha é uma das principais fontes de renda para alguns agricultores familiares. A maior produção concentra-se nas regiões de Palmeira dos Índios, Igaci e Estrela de Alagoas, responsáveis por 90% da produção de pinha em Alagoas (SEAGRI - AL, 2009). O clima dessas três regiões produtoras no estado é semelhante com as características da região de Palmeira dos Índios que se encontra com limites de Estrela de Alagoas (12 km) e Igaci (15 km). Apresentando como clima característico; quente e úmido, com temperaturas do ar médias variando entre 21,6 e 26,3°C. A estação chuvosa inicia-se em maio e

termina em agosto com uma precipitação anual entre 900 e 1000 mm, com grande deficiência hídrica no verão e pequeno excesso no inverno (IBGE, 2005). A classificação climática dessas regiões pela metodologia de Thornthwaite e Mather (1955) caracterizou como semiárido, megatérmico (quente), com grande deficiência de água no verão e excesso de água nulo no inverno. Já a região de Rio Largo, Alagoas dar-se a como úmido, megatérmico, com uma deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno.

O plantio da pinha pode ser de forma sexuada (por sementes) ou de forma assexuada (vegetativa). No entanto, em diversos estados do Brasil, devido à planta se adaptar melhor em regiões de clima mais quente os pomares são formados por mudas provenientes de sementes, essa propagação garante a busca por clones mais produtivos (FERREIRA et al., 2002). Contudo, Kawati, (1992) afirma que a produção de mudas através de sementes pode ser dificultado pela dormência podendo gerar um retardo na germinação. O local adequado é fundamental, isso por estar associado a frutos de boa qualidade. Nesse sentido, para o plantio da pinha tem que ser levado em consideração às condições edafoclimáticas, adaptando-se essa cultura a temperaturas do ar aproximadas de 30°C (NIETSCHKE et al., 2008).

Para Pinto et al. (2005), o espaçamento ideal para o cultivo da pinha varia, podendo ser 3,0 x 2,0 até 7,0 x 4,0 m, sendo mais indicado 4,0 x 3,0 ou 5,0 x 3,0 m. As covas devem apresentar dimensões de 40 x 40 x 40 cm (comprimento, largura e profundidade).

A pinheira é uma árvore bastante ramificada e sua altura pode alcançar 4,0 a 6,0 metros, quando jovens os ramos são de coloração esverdeada, tornando-se acinzentados e marrons quando amadurecem (lignificados). O crescimento se dá principalmente nos períodos no qual o clima é favorável, no estado de São Paulo, por exemplo, com temperaturas e umidades elevadas, chega a crescer em seis meses cerca de 70 centímetros (KAVATI, 1997).

De acordo com Oliveira et al. (2005), a pinheira apresenta um sistema radicular pivotante e quando a planta está em seu fase jovem, a raiz apresenta-se superior a parte aérea, podendo atingir uma profundidade superior de 5,5 vezes a altura da planta, o que proporciona tolerância quando a planta se encontra num período de variações hídricas do solo.

A poda na cultura da pinha é fundamental para que se tenha uma uniformidade do pomar, assim como, o favorecimento na produção precoce. Essa

técnica permite o bom desempenho na produção uma vez que ela age diretamente no tempo de florescimento, tamanho da planta e de frutos (VIANA, 2005). Dias et al. (2004) afirmam que quando os ramos são podados de forma a ficar curtos tendem a produzir menos flores, porém frutos maiores e de melhor qualidade. No entanto, se a poda for realizada de forma inadequada a planta pode ser afetada seriamente.

Para Souza et al. (2012), o desbaste é uma das técnicas que pode garantir frutos de qualidade, isso porque o excesso de frutos pode gerar problemas, como pinhas de tamanho pequeno. Além disso, a qualidade do fruto depende do nível de tecnologia utilizado. A maioria dos produtores de pinha da agricultura familiar colhe apenas uma vez ao ano, porém, de acordo com Silva et al. (2007), se o cultivo ocorrer sob condições de irrigação e manejo adequado é possível colher pinha o ano todo.

Devido às condições climáticas e fenológicas dessa planta, existe uma tendência na qual a produção em maior escala geralmente ocorre nos meses de janeiro a abril e em menor escala nos meses de outubro a dezembro, dessa forma, no segundo semestre os preços dessa fruta se elevam (PELINSON et al., 2005; KAVATI, 1997; SÃO JOSÉ et al., 1997).

3.2 Variáveis de Crescimento e Ambiental

A análise de crescimento é uma das ferramentas muito eficiente que tem sido utilizada para explicar as diferenças no crescimento das plantas, seja esse ocorrido por causa da modificação do ambiente ou por fatores genéticos (BRANDELERO et al., 2002; BENINCASA, 2003).

Conforme Daughtry (1990), em relação as técnicas para a determinação da área foliar, as planimétricas e gravimétricas são responsáveis por esse cálculo, isso porque a planimétrica está relacionada com a área foliar e o número de unidades de área cobertas. O gravimétrico faz a relação entre o peso seco das plantas e a área foliar.

Para Watson (1947), o índice de área foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$) é a área da folha integrada do dossel (m^2) por unidade de área projetada no solo (m^2), que inicialmente foi definido como uma área unilateral do tecido fotossintético por unidade da superfície do solo. É quantificado através de equações matemáticas, que possibilita a avaliação do crescimento vegetal por meio de análises da fitomassa e da área foliar.

A atuação das variáveis meteorológicas no crescimento e desenvolvimento das plantas é refletida na variação do IAF, sendo a radiação solar e a temperatura do ar bastante atuantes nesse processo. A radiação solar como responsável pela excitação de clorofila na faixa espectral de 0,40 a 0,70 μm . A temperatura do ar irá influenciar na respiração, transpiração, divisão celular, e na fotossíntese, ou seja, em todo desenvolvimento das plantas (CUNHA et al., 2009). A transpiração da planta, por sua vez, é influenciada constantemente em função da água disponível no solo, regulando os processos fisiológicos (CARNEIRO et al., 2008).

A determinação do IAF torna-se cada vez mais importante, pois auxilia no manejo da cultura, principalmente: nutrição, densidade, relações solo-água-planta, acumulação de matéria seca, produção, qualidade da cultura, entre outros. Além de auxiliar em modelos que calculam evapotranspiração (SOARES et al. 1997).

3.3 Balanço Hídrico de Sistemas Vegetais

O armazenamento de água no solo pode ser medido por meio de alguns modelos, conhecidos como balanços de água no solo ou simplesmente balanços hídricos. Há diversos tipos de balanços hídricos, cada um com a sua finalidade. O mais simples foi o proposto por Thornthwaite, em 1948, posteriormente modificado por Mather, em 1955, que ficou conhecido como Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather, 1955, servindo como base para uma classificação climática (OMETTO, 1981).

De acordo com Bonachela et al. (2001), todos os modelos de balanços têm como finalidade acompanhar a umidade do solo e tem como dados de entrada, a precipitação, irrigação e ascensão capilar, já como formas de saída, a evapotranspiração, drenagem e escoamento superficial. Com isto, a Equação 1 é tida como base para calcular o balanço hídrico (BH):

$$\Delta W = P + I + AC - ET - ES - D \quad (1)$$

em que: ΔW = variação no conteúdo de água do solo na zona radicular; P=precipitação pluvial; I= irrigação; AC= ascensão capilar; ET= evapotranspiração; ES= escoamento superficial; D= drenagem.

A falta de água no solo disponível para as plantas, se configura como déficit hídrico, esse, que por sua vez, afeta o desenvolvimento das plantas. As principais características das plantas que se configura como indicativo que estão passando ou passaram por estresse hídrico é a redução do crescimento, da área foliar e da produtividade (KRAMER, 1988). Ainda sobre o uso correto da água em fruteiras Reichardt (1978) e Silva et al. (2007) afirmam que a água é essencial na produção, porém não é apenas a falta que causa problemas na cultura, mas também o excesso sendo necessário o manejo adequado para evitar o risco de perda.

Oliveira et al. (2009) são categóricos ao afirmarem que para um manejo correto da irrigação, que permita a conservação dos recursos hídricos e a tomada correta de decisão, é necessário um pleno conhecimento sobre a necessidade hídrica da cultura. Em pomares, por exemplo, não há uma cobertura contínua do solo, e o único meio para a evapotranspiração é a transpiração e evaporação (VELLAME et al., 2009). A cobertura morta é uma forma de manter o solo úmido como é citado por Araújo (1999) e, além disso, controla a proliferação das plantas daninha e mantém a temperatura do solo mais baixa. Vale ressaltar também que o uso correto da irrigação quando associado à cobertura morta traz diversos benefícios, tais como: melhor aproveitamento da água e melhoria nas características físicas e químicas dos frutos da pinheira.

A umidade do solo é determinada por vários métodos, sendo eles, diretos e indiretos. Os diretos exigem uma maior atenção e mão de obra, e demanda mais tempo, como: método padrão de estufa/gravimétrico. Dentre os indiretos, destaca-se: tensiômetros, os blocos de bouyoucos, sonda de nêutrons, colman e como destaque e bastante utilizado nos dias atuais em pesquisa o de reflectometria no domínio do tempo (TDR). A quantificação da disponibilidade de água no solo é essencial para se determinar a irrigação e a frequência com que ocorre, e isso irá depender da quantidade de água armazenada no solo. Nesse sentido, faz-se necessário o uso da técnica da TDR, que além de ser um método para se determinar a umidade de água no solo, auxilia na obtenção da evapotranspiração. Sendo empregado cada vez mais em perímetros irrigados (SHARMA et al., 2017).

A evapotranspiração é uma variável que contém informações fundamentais para entender e gerenciar sistemas de recursos hídricos, assim como, avaliar e quantificar a produção de alimentos, biocombustíveis, dentre outros. É tida como principal consumidor de água líquida em sistemas

hidrológicos e altamente variáveis, especialmente, em função da diversidade e variabilidade de vegetação, e disponibilidade hídrica. (RICHARD et al., 2011).

A evapotranspiração é o principal componente no balanço de água em ecossistemas agrícolas, sendo um fator determinante nos estudos de avaliação ambiental e principalmente na estimativa da necessidade hídrica das culturas (RAZIEI e PEREIRA, 2013; CARVALHO et al., 2015).

Allen et al. (2011) afirmam que os dados de evapotranspiração pode ser estimado por calibrações de vários modelos, no entanto, esses modelos estão propícios a erros grosseiros, o que pode vir a atrapalhar nos resultados de pesquisas, pois muitas das vezes, essas calibrações de modelos, deixam vagos, algumas das etapas utilizadas para suas realizações, o que pode interpretar de forma errônea e conseqüentemente a perda da credibilidade no sistema adotado.

Dentre os métodos discutidos em seu relatório de informações a respeito de evapotranspiração, Allen et al. (2011) citam alguns, sendo fundamentais na obtenção da evapotranspiração de referência: razão de Bowen, lisimetria, Eddy covariância, fluxo de seiva e balanço de energia em sensoriamento remoto.

O método da razão de Bowen é utilizado pouco em frutíferas, sendo empregado principalmente em cultivos florestais, uma vez que há uma heterogeneidade entre a copa das árvores, considerado um método de risco, pois precisa medir o saldo de radiação (R_n) e o fluxo de calor no solo (G), que em muitos casos, a depender do ambiente se torna difícil, o que poderá ser estimada com incertezas (ALLEN et al., 2011). Outro método bastante utilizado é o da lisimetria. Com o uso de lisímetros é possível obter informações básicas para o desenvolvimento, calibração e validação de outros métodos de evapotranspiração. Distribuídos em três categorias: 1- não pesado ou de percolação; 2- flutuação e 3- os de pesagens.

Com avanços nas pesquisas o método que vem ganhando espaço e adepto de sua utilização é o de fluxo de seiva, porém requer cuidados na sua mensuração. De acordo com Allen et al. (2011), o método é adequado para se determinar a transpiração tanto em plantas florestais quanto em pomares, uma vez que, os sensores podem ser alocados e adaptados nas mais diversas partes da planta, no entanto, com uma restrição mínima de 40 mm de diâmetro da haste. A principal vantagem desse método é a medição direta da transpiração. E como desvantagem:

os espaçamentos da sonda e forma da haste, e tamanho da planta, onde a haste pode vir interferir na translocação de solutos, impedindo esse fluxo contínuo do xilema e floema.

Conhecido como correlação de vórtices, o método de Eddy covariância baseia-se na correlação entre os fluxos verticais de vapor ou calor sensível. Em que, é necessário determinar o balanço de energia, sendo um método vantajoso pelo fato de ser automatizado e não destrutivo (Allen et al., 2011).

O método de evapotranspiração através do balanço de energia por sensoriamento remoto é considerado por vários pesquisadores como sendo o mais prático, uma vez, que através de fotografias é possível estimar a evapotranspiração para uma grande área, independente da cultura e do porte da planta. Esse método tem como vantagem a praticidade e disposição, e como desvantagem, requer um conhecimento sobre a interpretação de imagens via satélite, assim como, mexer em programas de processamento de imagens (ALLEN et al., 2011).

O Boletim FAO 56 (Allen et al., 1998) classifica como os principais tipos de evapotranspiração: evapotranspiração da cultura (ETc) e evapotranspiração real da cultura (ETr).

Evapotranspiração de referência (ETo) é definida como a que acontece em uma superfície vegetada por cultura de referência hipotética, geralmente a grama que se caracteriza como vegetação rasteira de crescimento regular que em condições ideais de cultivo, muito comuns em estações meteorológicas, apresenta altura média de 12 cm e um albedo em torno de 0,23. Em algumas regiões, devido ao clima, é usada como referência a cultura da alfafa. Os fatores que afetam a ETo são os parâmetros meteorológicos como: temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. A ETo é tida como base para obtenção da evapotranspiração da cultura (ETc) e evapotranspiração real (ETr).

A ETo é estimada por vários métodos, alguns são considerados fundamentais, dentre eles, Penman-Monteith padronizado pelo boletim da FAO número 56 (PM-FAO 56) (ALLEN et al., 1998), utilizado quando se tem todas as informações de variáveis meteorológicas (saldo de radiação, fluxo de calor no solo, velocidade do vento, pressão de saturação do vapor d'água do ar, pressão parcial do vapor d'água do ar, temperatura do ar média, inclinação média da curva de pressão de vapor e um coeficiente psicrométrico, associadas às condições locais.

O método do tanque classe A, citado por Kashyap e Panda (2001), é considerado um método empírico, baseado na evaporação da água do tanque classe A (ECA) e a ETo. A conversão de ECA em ETo depende de um coeficiente, denominado de coeficiente do tanque (K_p). Em que, K_p depende do tamanho da bordadura, a umidade relativa do ar e da velocidade do vento. Esse método se torna exigente, uma vez que, os fatores ambientais externos podem atrapalhar na mensuração dos dados. Já Braga et al. (2008) classificam esse método como sendo de baixo custo de implantação. Porém, ressalta que muitos pesquisadores questionam o método de escolha do coeficiente do tanque (k_p) usando esse tanque evaporímetro para estimativa da ETo.

O método de Thornthwaite (1948) é considerado, um método empírico, porém baseado apenas na temperatura média do ar. Esse método parte de uma evapotranspiração padrão, a qual é a evapotranspiração para um mês de 30 dias e com um fotoperíodo (N) igual a 12 horas, necessita ainda de índices térmicos para assim, poder estimar a ETo (MEDEIROS, 2002).

Turc (1961) apresentou um método para calcular ETo, que é necessário apenas dados de radiação solar e temperatura, ficando conhecido como método de Turc. Já a metodologia denominada por Priestley – Taylor (1972) faz-se uso de uma constante: $\alpha = 1,26$; além do uso da radiação solar (R_n), fluxo de calor no solo (G) e de um coeficiente psicrométrico. Tal método tem como referência para sua estimativa, a metodologia proposta por Penman, (1948) que segundo Silva et al. (2015), a estimativa da ETo nesse método depende apenas da radiação solar e da temperatura do ar.

O método FAO – Radiation apresentado por Dorembos e Pruitt (1977), faz-se uso essencialmente da radiação solar e umidade relativa do ar. Já o método de Hargreaves baseia-se na temperatura do ar média e na amplitude térmica. E o método FAO – Blaney – Criddle é essencial a umidade relativa do ar, temperatura média mensal e o N, assemelhando-se ao de Thornthwaite, utilizando a temperatura média mensal e um fator ligado ao comprimento do dia, diferenciando-se por usar um coeficiente (k), a depender da cultura. Para tanto, existem valores tabelados para diversas culturas.

Allen et al. (1998), em seus estudos, afirmam que a evapotranspiração da cultura (ETc) para todo o ciclo vegetativo, corresponde a necessidade de água da cultura sob condições ideais, livre de doença, plantas daninhas, bem fertilizadas,

cultivadas em grandes campos sob as condições da água no solo, e alcançar a produção máxima sob condições climáticas. A cultura por sua vez, deverá ser bem manejada, a fim de evitar perdas e deverá apresentar uma ET_c entre 1 a 9 mm d^{-1} .

O coeficiente de cultivo (K_c) consiste em um fator de ajuste adimensional que converte ET_o em ET_c . Os valores de K_c variam com as condições de manejo e das características das culturas, expressando assim, os efeitos morfológicos, fisiológicos, e fenológicos da cultura sobre a sua necessidade de água (PEREIRA e ALLEN, 1997; ALLEN et al., 2011).

Allen et al., (1998) citado por Volschenk, (2017) afirmam que a variação do K_c , durante o ciclo de um determinado cultivo, estágio inicial, intermediário e final é essencial para se obter uma curva para a determinação da ET_c , variando de acordo com seu desenvolvimento e ocupação.

A evapotranspiração real (ET_r) é definida por Volschenk, (2017), como sendo a que ocorre em um cultivo, independentemente de suas características e do ambiente, levando em consideração todos os fatores e reações da planta e do meio. Logo, é apurada com restrições de déficit hídrico ou não. Pode ser obtida em campo ou por estimativas, realizadas por diversos métodos, dentre eles, os que estão ligados a parâmetros, como: coeficiente de cultivo (K_c), modelagem do balanço hídrico, além de abordagens empíricas do modelo empregado por Penman- Monteith (RANA & KATERJI, 2000; SASSENDHAN, 2016).

Poulovassilis et al. (2001) afirmam que determinar a ET_r não é fácil, uma vez, que dados referentes a morfologia da cultura nem sempre estão acessíveis, pois há algumas culturas que poucos são os estudos e conhecimento sobre sua fenologia, assim como, elementos meteorológicos, que a depender da região podem ser inexistentes, e monitoramento frequente da umidade do solo. Logo, o suprimento dessa dificuldade pode ser com a utilização da modelagem computacional, que a cada ano vem crescendo, e criando métodos simplificados e precisos para estimativas de ET_r .

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área Experimental e Implantação do Pomar

A pesquisa de campo foi realizada com a cultura da pinha, na área experimental da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus Delza Gitaí, que se localiza na cidade de Rio Largo – Alagoas, com coordenadas geodésicas 09°28'02"S; 35°49'43"W e 127 metros (m), no período de Abril de 2016 a Janeiro de 2017.

A caracterização do clima se dá pela classificação de Thorthwaite e Mather (1955), como úmido, megatérmico (quente), com uma deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação anual média chega a 1800 mm. A temperatura do ar varia de 19,3 °C em agosto a 31,7 °C em janeiro, com média anual de 25,4 °C e umidade relativa do ar média mensal acima de 70% (SOUZA et al., 2005).

O solo da área foi classificado como Latossolo amarelo coeso argissólico apresentando textura média/argilosa (CARVALHO, 2003). O preparo da área foi realizado com duas gradagens, a primeira pesada, numa camada mais profunda, realizada 30 dias antes do plantio, e a segunda leve, 10 dias antes do plantio. A abertura das covas foi realizada com dimensões 0,40 x 0,40 x 0,40 m, seguida da aplicação de calcário de 500 g por cova, junto à adubação de fundação correspondendo à fração de um quinto da adubação recomendada e adaptada às condições locais.

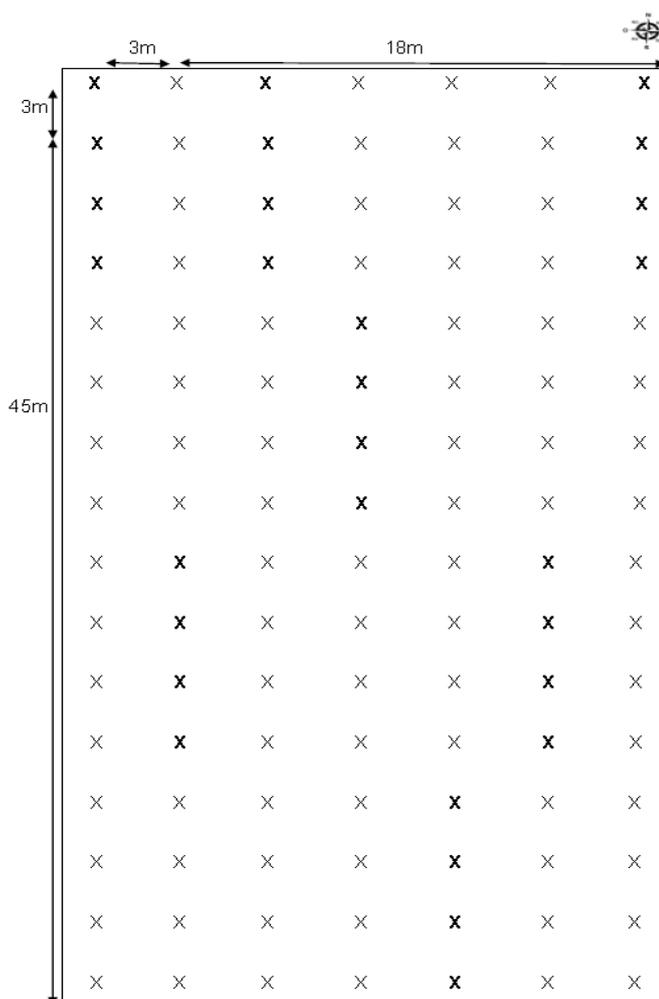
A adubação seguiu o manual técnico de recomendação de adubação para Pernambuco, que recomenda, para o primeiro ano de cultivo de pinha, aplicar 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60 kg ha⁻¹ de pentóxido de fósforo (P₂O₅) e 45 kg ha⁻¹ de óxido de potássio (K₂O). As fontes utilizadas foram ureia, super simples e cloreto de potássio, respectivamente. Seguindo a recomendação, a adubação foi parcelada em cinco vezes, a primeira 15 dias antes do plantio (adubação de fundação) com P₂O₅ e as de cobertura, efetuada 60, 90, 150 e 300 dias após o transplântio (DAT) com N e K₂O.

O transplântio foi realizado dia 05 de abril de 2016 em uma área de 1008 m². Com espaçamento entre plantas de 3,0 x 3,0 m que totalizando 112 plantas (Figura 1). Após o transplântio, todas as plantas passaram por um processo de corte em 50% de cada folha, a fim de evitar a perda excessiva de água. Para manter o porte

ereto das plantas, foi realizada a técnica de tutoramento com estacas de bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad).

Para a irrigação, foi implantado um sistema de irrigação do tipo gotejamento, sendo para tal, usado uma mangueira de polietileno de 20 mm de diâmetro e acoplado a mesma, gotejadores autocompensantes com uma vazão média de 8,0 L por hora, localizado a uma distância de 10 cm do caule de cada planta. O bulbo úmido encontrado foi de 0,65 m², valor esse, encontrado, testando valores para o tamanho do bulbo úmido condizentes com as leituras de umidade registradas pela TDR. O turno de rega adotado foi o fixo, sendo irrigadas três vezes por semana. A lâmina de irrigação foi aplicada com um tempo fixo de 1 h por dia, já que não se tinha o coeficiente da cultura (K_c), e quantificada por um hidrômetro.

Figura 1. Croqui experimental do pomar de pinha, variedade “crioula”, com plantas avaliadas em destaque.



Fonte: Autor, 2016

Para manter a cobertura no solo, dificultando o desenvolvimento de plantas daninhas, realizou-se o plantio de gramíneas nas entrelinhas. O controle de plantas daninhas foi realizado através de capinas manual, roçagens e aplicação de herbicida sistêmico não seletivo, Glifosato 360 g L⁻¹. Quando observado a presença de moscas minadora e cigarrinhas na área, adotou-se o controle químico, utilizando os inseticidas Cipermetrina 250 g L⁻¹ e Imidacloprido 700 g kg⁻¹. As pulverizações de inseticidas e herbicida foram realizadas com um pulverizador costal com capacidade de 20 L, aplicado com o equipamento de proteção individual (EPI).

4.2 Poda

A poda é uma técnica bastante utilizada na grande maioria das frutíferas, que visa obter uma uniformidade na formação da copa. Sendo essencial no manejo da cultura da pinha. Em que, em agosto de 2016, mais precisamente aos 150 dias após o transplante (DAT), as plantas foram podadas, caracterizando a poda de formação, Figura 2A.

Figura 2. Técnica da poda, o “desponte”, em plantas de pinha irrigada aos 150 DAT (A), e 300 DAT (B).



Fonte: Autor, 2016/2017

Nessa técnica, as plantas foram despontadas para estimular a emissão de três a quatro brotações, radialmente distribuídas, em alturas diferentes nos 20 cm terminais do caule, perfazendo-se uma desfolha dos ramos, realizada manualmente, iniciando-se da extremidade para sua base, para estimular o desenvolvimento vegetativo das gemas localizadas nas axilas das folhas. As demais brotações surgidas no tronco foram eliminadas e as brotações selecionadas constituíram as pernadas definitivas da planta, onde foram despontadas mais uma vez aos 300 DAT, Figura 2B, quando assim, estavam com uma copa bem formada pronta para dar início à produção de frutos.

4.3 Dados Meteorológicos

O resumo dos dados meteorológicos utilizados na pesquisa está exposto na Tabela 1, na qual constam dados médios (ou total) de cada período avaliado, obtidos da estação agrometeorológica instalada próxima da área de campo. A umidade relativa (%) e temperatura do ar (°C) foram medidas por um termohigrômetro (HMP45C, Campbell Scientific, Logan, Utah) instalado a 2,0 m acima da superfície do solo. A precipitação pluvial foi monitorada por um pluviômetro (TB3, Hydrological Services PTY. LTD., Sydney, Austrália) instalado a 1,5 m acima da superfície do solo, seu valor é dado em (mm). A velocidade do vento (m s^{-1}) foi medida por um equipamento denominado anemômetro (Young, Michigan), a uma altura de 2,0 m do solo. A irradiação solar global (Hg) diária foi obtida através da integração diária dos dados de irradiância mesurados por meio de um piranômetro (MJ m^{-2}).

Tabela 1. Médias mensais dos elementos meteorológicos: umidade relativa do ar máxima (URmax) e mínima (URmin), velocidade do vento (U2), temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin), precipitação (P) e irradiação solar global (Hg), durante o período experimental de setembro de 2016 a janeiro de 2017.

Período	URmax (%)	URmin (%)	U2 (m s ⁻¹)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	P* (mm)	Hg (MJ m ⁻²)
Set/2016	93,24	55,41	1,66	28,71	19,32	46,99	21,69
Out/2016	88,89	47,95	2,02	30,54	20,48	21,60	23,76
Nov/2016	86,16	46,80	2,06	30,82	21,16	15,20	22,83
Dez/2016	83,10	44,88	2,12	31,29	21,90	21,30	22,29
Jan/2017	89,07	46,43	1,94	31,07	21,88	41,91	21,54

* Total mensal.

4.4 Medidas Biométricas

O desenvolvimento e crescimento das plantas foram acompanhados em 24 plantas, distribuídas em sete linhas com 16 plantas e a área útil avaliada foi de 4 plantas, com medições periódicas a cada 30 dias. As variáveis analisadas foram: altura da planta (AP), diâmetro do dossel (DD) e índice de área foliar (IAF).

A altura da planta foi padronizada da base da planta (“colo”) até sua extremidade (ápice da copa), Figura 3A. Para o diâmetro do dossel foi aferido em quatro pontos ou ângulos diferentes, dependendo da distribuição da copa, obtendo-se uma média entre esses quatro pontos. Cada aferição foi realizada com uma fita métrica graduada e cada unidade de medida, dada em metros.

Figura 3. Análise biométrica, altura de planta (A) e índice de área foliar (B), na cultura da pinha irrigada no período de setembro de 2016 a janeiro de 2017.



Fonte: Autor, 2016

O IAF foi determinado através de um sensor que realiza medidas não destrutivas LAI-2000 (LI-COR), Figura 3B. Essas leituras são realizadas com base na luz incidente de radiação na copa. Que de acordo com o manual do sensor, a leitura não deve ser feita na luz direta e deve ser feito as leituras no entardecer ou no amanhecer. As leituras foram feitas no período em que os raios solares encontraram-se em menor intensidade. Mantendo-se a uma distância mínima de cinco vezes em relação ao tamanho das folhas. Para tanto, a leitura em um ponto foi feita de acordo com o recomendado pelo fabricante, uma leitura acima e cinco abaixo, repetido três vezes, ou seja, 18 leituras para cada ponto. E assim, obteve-se uma média para cada planta avaliada.

4.5 Graus-dia

Considerado um dos métodos utilizados para relacionar a temperatura do ar e o desenvolvimento vegetal. Baseia-se na ideia de que uma planta necessita de certa quantidade de energia, representada pela soma de graus térmicos necessários, para completar uma fase fenológica ou mesmo o seu ciclo total (MORAIS et al., 2010).

Os graus-dia acumulado (GDA, °C dia) para cada análise de crescimento foram calculados com a temperatura do ar máxima (T_{max}), temperatura do ar

mínima (T_{min}) e uma temperatura base (T_b) igual 10 °C sugerida por Silva et al. (2006) trabalhando com anonácea no Estado da Bahia, e graus-dia (GD), de acordo com a Equação 2;

$$GDA = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_b \quad (2)$$

em que, T_{max} é a temperatura do ar máxima diária(°C), T_{min} é a temperatura do ar mínima diária (°C), T_b é a temperatura base e n é o número de dias observados.

4.6 Coeficiente de cultivo (K_c) e Evapotranspiração da Cultura (ET_c)

O coeficiente da cultura (K_c) foi determinado para alguns dias de cada período de avaliação biométrica, mediante a razão da evapotranspiração da cultura (ET_c) pela evapotranspiração de referência (ET_o). Na qual, a ET_c foi obtida de acordo com a metodologia de Rana & Katerji (2000), que considera a ET_r (ou ET_c) igual a variação do conteúdo de água no solo (ARM, em mm) entre dias consecutivos (Equação 3) quando não ocorre chuva, irrigação e drenagem, em que, P , I , e D é igual a zero.

$$ET_r = ARM_{i-1} - ARM_i \quad (3)$$

em que: ARM_{i-1} é o armazenamento de água (ARM) na profundidade do sistema radicular, do dia anterior e ARM_i é o ARM do dia.

Nos dias (total de 45) que o conteúdo de água do solo encontrava-se próximo da capacidade de campo ($CC=69,60$ mm), a ET_r determinada conforme método citado acima, e foi considerada igual a ET_c , ou seja, considerado que a cultura evapotranspirou potencialmente. O ARM foi determinado através de medidas da umidade volumétrica do solo e a profundidade do sistema radicular. A umidade volumétrica do solo teve um monitoramento diário por meio da técnica de reflectometria do domínio do tempo (TDR) (CS616, *Campbell Scientific, inc.*), dois sensores foram instalados em uma planta referência, a uma distância de 10 cm do

caule. Os sensores foram posicionados verticalmente, sendo um sensor na profundidade de 0 a 30 cm e o outro 30 a 60 cm.

O sistema radicular foi considerado igual a 30 cm, pois o estudo é na fase inicial de crescimento da cultura, correspondendo um período de 1 ano. A profundidade efetiva do sistema radicular em pomares está distribuída nos primeiros 40 cm, (FACHINELLO et al., 2008).

Os sensores TDR estavam devidamente calibrados conforme detalhes descritos por Sarmiento (2015), a qual foi gerada uma equação polinomial de segundo grau, com N igual a 21 e R² de 0,939 (Equação 4).

$$\theta = -2,16409 + 0,16643P - 0,00284P^2 \quad (4)$$

A ETo diária foi determinada por cinco metodologias, primeiramente determinada pelo método de Penman-Monteith padronizado pelo boletim da FAO número 56 (PM-FAO 56) (ALLEN et al., 1998), com os dados da estação agrometeorológica considerando como sendo (ETo 1), Equação 5.

$$ETo1 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T_m + 273} \right) U_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma(1 + 0,34 u_2)]} \quad (5)$$

em que, R_n é o saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹) que foi em função da Irradiação Solar Global (R_n = 0,572 H_g) conforme Ferreira Junior et al. (2014). G é o fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹), considerado igual a 0 (zero) na escala diária. U₂ é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹). e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (KPa). e é a pressão parcial do vapor d'água do ar (KPa). T_m é a temperatura do ar média (°C), Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor saturado no ponto da temperatura do ar média (KPa °C⁻¹) e γ é o coeficiente psicrométrico (KPa °C⁻¹).

A segunda (ETo 2) e terceira (ETo 3) metodologias usam a equação de PM-FAO 56 (equação 5), sendo na ETo 2 a H_g foi estimada pelo método de Bristow e Campbell (1984) (Equação 6):

$$H_g (\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = H_o \{ \beta_1 [1 - \exp(-\beta_2 \Delta T^{\beta_3})] \} \quad (6)$$

em que, H_o é a irradiação solar global extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); $\beta_1 = 0,707$; $\beta_2 = 0,033$; $\beta_3 = 2,13$; e ΔT é amplitude térmica do dia. E, na ETo 3 a Hg foi estimada pelo método de Hargreaves e Samani (1982) (Equação 7). Nas equações 6 e 7 os coeficientes das estimativa de Hg foram ajustados para a região de estudo por Santos et al. (2014).

$$Hg (\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) = H_o (\alpha_1 \Delta T^{0,5}) \quad (7)$$

em que, $\alpha_1 = 0,201$.

Já para a quarta (ETo 4) e quinta (ETo 5) metodologias utilizou-se para a determinação da ETo o método de Hargreaves e Samani (1985), Equação 8:

$$ETo 4, ETo 5 (\text{mm dia}^{-1}) = 0,0135 \frac{Hg}{\lambda} (T_m + 17,8) \quad (8)$$

em que, λ é o calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$) e T_m é a temperatura do ar média. Sendo na ETo 4 a Hg foi estimada pelo método de Bristow e Campbell (1984) (Equação 6), e na ETo 5 a Hg foi estimada pelo método de Hargreaves e Samani (1982) (Equação 7) e como já mencionado, os coeficientes foram ajustados (Santos et al., 2014).

Por fim, determinou-se o K_c pelos cinco métodos de ETo acima descritos. Após ter sido determinados os valores de K_c para os períodos de avaliações biométricas, obteve-se o K_c médio para fase inicial de crescimento da cultura.

O desempenho estatístico dos métodos avaliados para estimativas da ETo e K_c foi analisado através do índice de concordância ou exatidão "d" desenvolvido por Willmott (1981), em que quantifica matematicamente a dispersão dos dados em relação ao método considerado padrão. Assim como, a raiz do erro quadrático médio (RMSE).

A RMSE é um índice estatístico utilizado para verificar a acurácia de métodos, onde quanto mais próximo a zero, melhor é a acurácia do método (Equação 9).

$$RMSE = \left[\frac{1}{N'} \sum_{i=1}^{N'} (e_i - O_i)^2 \right]^{0,5} \quad (9)$$

em que: N' = número de observações; ei = os valores simulados; Oi = os valores observados.

O índice de concordância de Willmott (1981) indica a exatidão entre os valores observados e estimados, variando de 0 a 1, onde 1 indica máxima concordância (Equação 10).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N'} (ei - oi)^2}{\sum_{i=1}^{N'} (|ei - \bar{oi}| + |oi - \bar{oi}|)^2} \quad (10)$$

em que: \bar{oi} é média dos valores observados.

4.7 Balanço Hídrico no Cultivo

O balanço hídrico (BH) do cultivo no período do estudo foi desenvolvido por uma metodologia em escala diária: o método de Thornthwaite e Mather (1955) de maneira sequencial e escala diária. O BH tem como entrada, os dados de precipitação (P), irrigação (I) e evapotranspiração da cultura ($ET_c = ET_o K_c$), possibilitando a estimativa do ARM, evapotranspiração real (ET_r), déficit (DEF) e o excesso (EXC) de água. A ET_o utilizada foi a estabelecida com ET_o1 (PM-FAO 56), conforme equação 5. O K_c usado foi o determinado pela ET_o1 e os valores de ET_c observados. Para avaliar o desempenho do balanço hídrico foram comparados os valores do ARM observados (medidos com TDR) e os estimados.

A capacidade de água disponível (CAD) utilizada no BH é igual a 27,9 mm, valor obtido pela diferença das umidades volumétrica na capacidade de campo ($\theta_{cc} = 0,232 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e do ponto de murcha permanente ($\theta_{pmp} = 0,139 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) multiplicada pela profundidade efetiva do sistema radicular (0,30 m) considerada. Maiores detalhes das umidades volumétricas do solo em COSTA (2003).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis de Crescimento

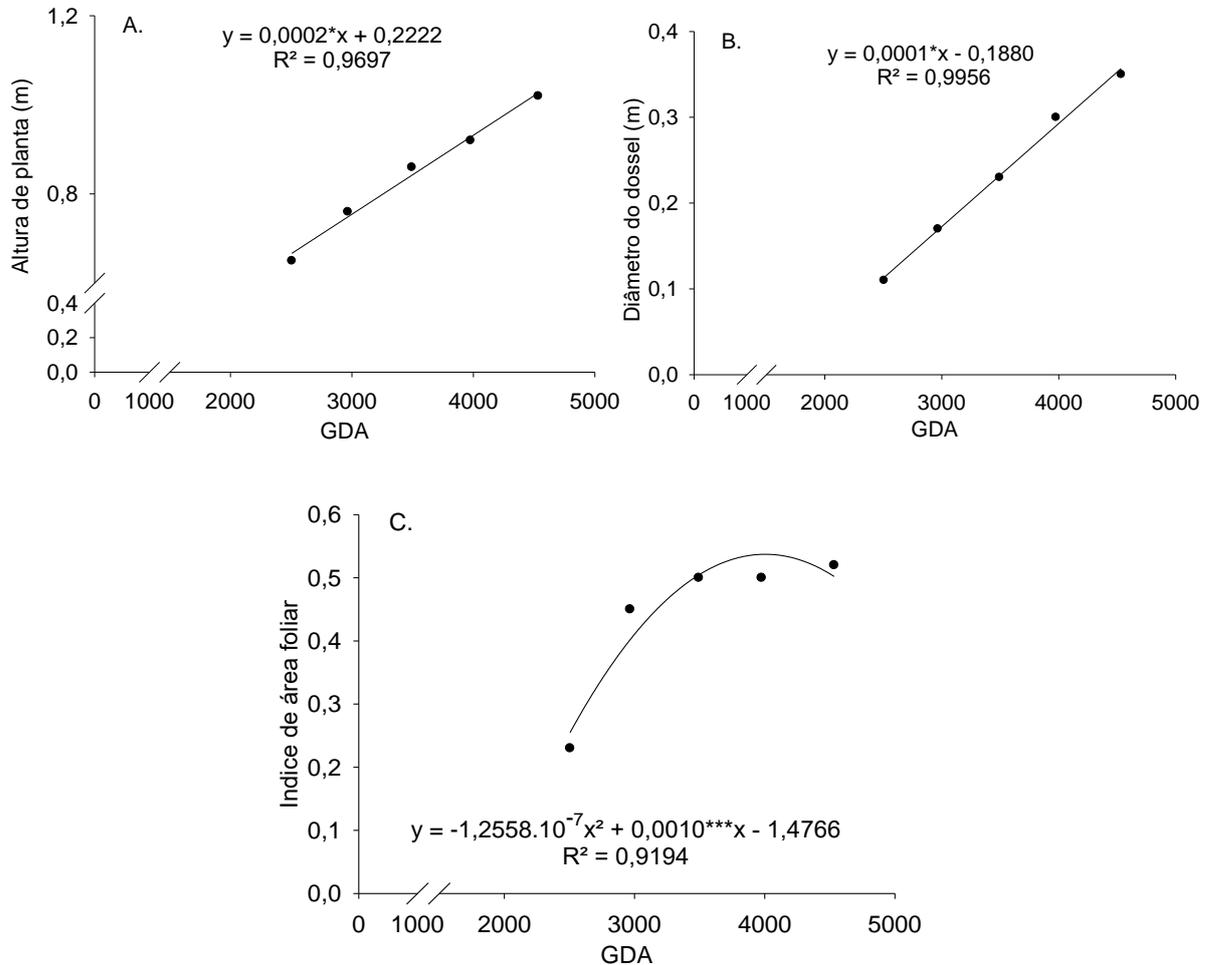
As variáveis biométricas alturas de planta, diâmetro do dossel e índice de área foliar avaliadas em plantas do pomar de pinha irrigada, estão apresentadas na Figura 5. A variável altura da planta (AP) os dados ajustaram-se ao modelo de regressão linear com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,96$, em que os graus-dia favoreceram o crescimento das plantas acompanhado da realização da poda de formação realizada no primeiro período de avaliação, aos 107 dias após o transplante (DAT), ocorridos quando o acúmulo de graus-dia estava a 2505,02 GDA e as plantas apresentavam um crescimento de 0,65 metros de altura no segundo período de avaliação, mais precisamente aos 207 DAT. A técnica de poda favoreceu o crescimento das plantas, chegando a atingir um pico de 1,02 m de altura aos 4533,82 GDA (Figura 5A).

O diâmetro médio do dossel (m) das plantas de pinha irrigada em relação aos GDA é apresentado na Figura 5B. Da mesma forma que a variável AP, as plantas apresentaram um crescimento linear, apresentando um coeficiente de determinação $R^2 = 0,99$.

Apesar dos graus-dia está relacionado ao crescimento e desenvolvimento das plantas, o diâmetro inicial do dossel de 0,11 m é tido como baixo devido o desenvolvimento inicial das plantas após um “desponte”, técnica denominada de poda de formação. Entretanto, a partir de 2966,17 GDA, com diâmetro de 0,17 m as plantas apresentaram desenvolvimento em diâmetro com crescimento rápido, comparando-se ao seu valor inicial, ocorrendo um crescimento mais lento em diâmetro entre 3976,1 e 4533,82 GDA, 0,30 e 0,35 respectivamente.

Em relação à variável índice de área foliar (Figura 5C), os dados ajustaram-se a uma regressão quadrática, apresentando um coeficiente de determinação $R^2 = 0,91$. Para tanto, observou-se que houve aumento acelerado em função do aumento de GDA para plantas de pinha, até atingir o valor de 3492,84 GDA proporcionando um índice de área foliar de 0,52. E apresentando um ponto máximo na equação de 0,52 m aos 4533,82 GDA.

Figura 4. Relação entre a análise de crescimento (Altura de planta (A), diâmetro do dossel (B) e índice de área foliar (C)) com Graus-dia acumulado (GDA) na cultura da pinha, durante o período de avaliação experimental (setembro de 2016 a janeiro de 2017).



Silva (2018) trabalhando com evapotranspiração real em laranja lima na fase inicial de crescimento sob condições de observações semelhantes, encontrou um crescimento máximo em altura de planta de laranja de 0,93 m aos 4500 GDA. Valor esse, semelhante ao encontrado nessa pesquisa, 1,02 m aos 4533,82 GDA, apesar da diferença entre as características fenológicas entre as culturas, o que de fato deve ser observado é a interferência dos graus-dia no crescimento e desenvolvimento de qualquer cultura.

Para o diâmetro do dossel e IAF, os dados obtidos na pesquisa diferiram dos encontrados por Silva (2018). O ponto máximo da equação encontrado na pesquisa apresentou um diâmetro de 0,35 m, enquanto que Silva (2018) encontrou em seu

estudo 0,52 m. Já com relação ao IAF obtido nessa pesquisa, tem-se um ponto máximo de 0,52 m aos 4533,82 GDA e Silva (2018) obteve um valor máximo de 0,78 m aos 3383,00 GDA no mesmo período de tempo. Essa diferença em diâmetro e IAF são justificadas pelas características e fenologia das plantas, assim como, temperatura exigida para o desenvolvimento entre as culturas.

5.2 Evapotranspiração de Referência (ET_o)

Na Figura 4A está apresentado a relação entre a ET_o 1 e ET_o 2. Para tanto, a dispersão dos dados encontra-se distribuída entre 4,0 a 6,0 mm. O comportamento dos dados apresentou um coeficiente de determinação $R^2= 0,78$. Já para a concordância entre os métodos, apresentou $d = 0,85$ com uma acurácia entre os dados de $RMSE= 0,76$.

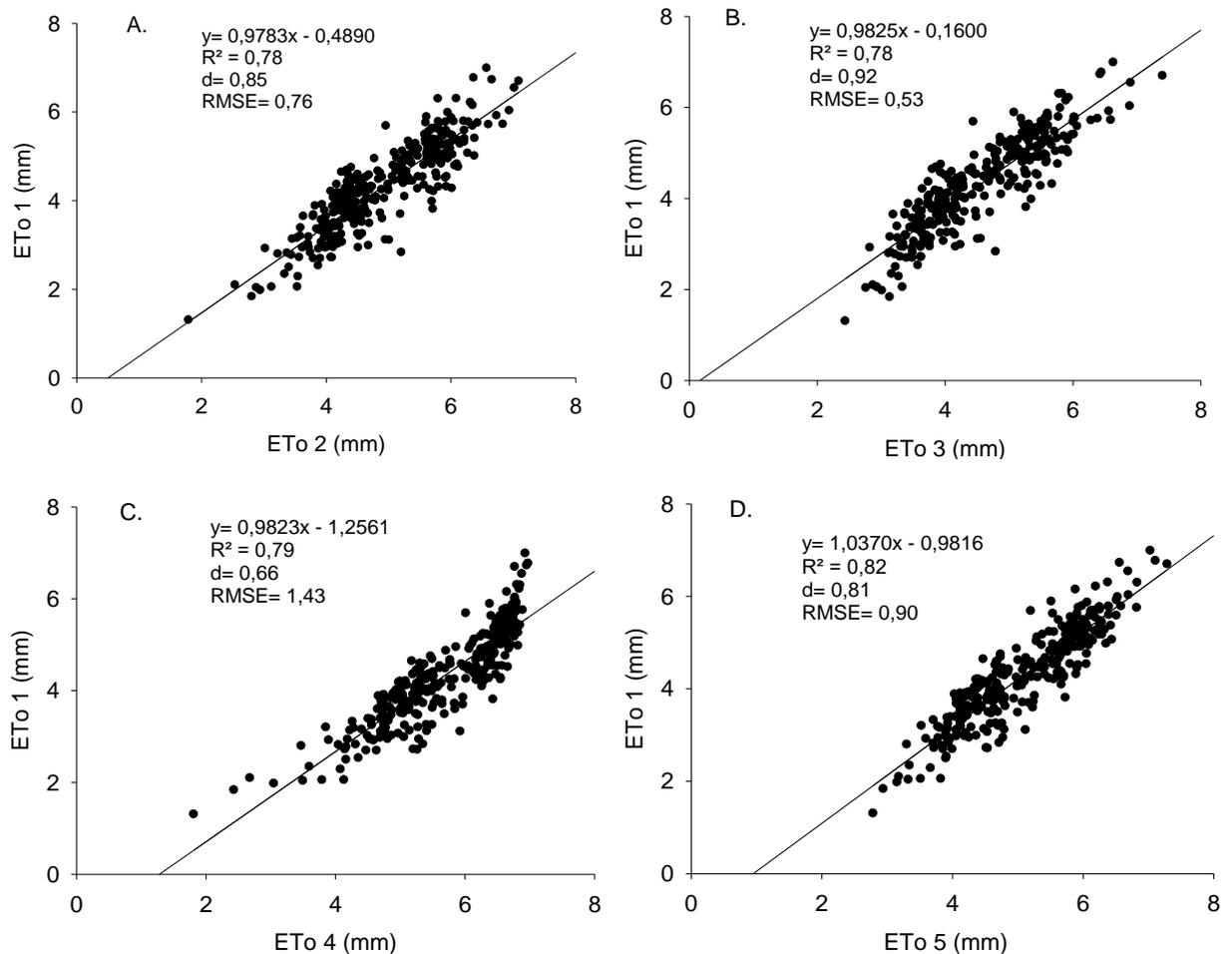
Na Figura 4B os dados da ET_o 1 com ET_o 3 ajustaram-se a regressão linear com coeficiente de determinação 0,78. Quando observado a dispersão dos dados, observa-se uma concentração maior dos valores entre 3,8 e 5,8 mm. No entanto, a concordância apresentou ótima, sendo $d = 0,92$ e uma acurácia boa, apresentando um $RMSE= 0,53$ segundo os critérios de Willmott (1981).

Ao observar o comportamento dos dados na Figura 4C, tem-se o seguinte: os dados ET_o 1 versus ET_o 4 ajustaram-se ao modelo de regressão linear com uma dispersão menor entre os dados, apresentando um coeficiente de determinação $R^2= 0,79$. Porém, a variação entre os dados ficou entre 4,0 a 7,0 mm e uma concordância $d= 0,66$ e uma acurácia entre os mesmos, $RMSE= 1,43$.

Na relação entre a ET_o 1 com ET_o 5, os dados apresentaram mesmo seguimento que na Figura 4C, porém, os dados sofreram uma variação entre os valores de ET_o de 4,0 a 6,5 mm durante o período de avaliado. E um coeficiente de determinação $R^2= 0,82$. Já a concordância entre os métodos, $d= 0,81$ e uma acurácia, $RMSE= 0,90$ (Figura 4D).

A relação da evapotranspiração entre o ET_o 1 e ET_o 5 apresentou o R^2 superior aos demais relações analisadas, porém, o índice estatístico de concordância $d= 0,81$, não mostrou ser superior, assim como, a acurácia entre os $RMSE= 0,90$.

Figura 5. Relações entre a ETo 1 estimada por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e: A) ETo 2 por PM-FAO e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; B) ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; C) ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; D) ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani, entre setembro de 2016 a janeiro de 2017.



Nota: R^2 é o coeficiente de determinação; "d" é índice de concordância de Willmott; RMSE é raiz do erro quadrático médio.

Quando observado a relação entre todos os métodos, percebe-se que o método de ETo 3 mesmo apresentando um coeficiente de determinação pouco inferior ao de ETo 4 e ETo 5, apresentou uma concordância, superior, $d = 0,92$ que quando comparado ao "d" dos outros métodos, o segundo melhor foi o de ETo 2. Podendo ser observado que a variação da ETo 3 foi a que menos ocorreu maior dispersão entre os dados, (Figura 4B).

Corroborando com esses resultados, Conceição (2010) trabalhando com ETo com base na irradiação solar global estimada pelo método de Bristow – Campbell encontrou valores semelhantes aos deste trabalho. Moura et al. (2013) em estudo com ETo baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco, Brasil, encontraram também concordância $d= 0,96$ entre os métodos de Penman-Monteith e Hargreaves e Samani, colaborando com este trabalho. Segundo ele, é provável que a diferença entre os valores de ETo durante os dois primeiros períodos de observação, setembro/outubro esteja relacionada á uma maior intensidade da precipitação, como, nebulosidade.

Para tanto, o método que apresentou maior discrepância quando comparado a todos os métodos foi o ETo 4, em que apresentou uma ETo média de 6,45 mm ao dia, valor esse, observado também ao longo de todo período avaliado. Logo, a concordância entre os dados e sua acurácia é fundamental para ter a convicção do método mais eficaz, a ser considerado na obtenção dos dados de ETo. Pois, nem sempre há uma disponibilidade de todos os dados, para se determinar a ETo.

5.3 Coeficientes da Cultura (Kc)

Os Kc encontrado com os dados de ETo pelos diferentes métodos: ETo 1, ETo 2, ETo 3, ETo 4 e ETo 5 estão expostos na Tabela 2. Para tanto, os valores de Kc obtidos com os dados de ETo1 sofreram uma variação de 0,57 a 1,33 correspondendo a mínimo e máximo. Para os demais, os valores de Kc mínimo de 0,51; 0,55; 0,44 e 0,48 corresponderam a ETo2; ETo 3, ETo 4 e ETo 5, assim como, o máximo 1,21; 1,28; 1,12 e 1,22, respectivamente. Sendo o valor máximo de 1,28 obtido pelo método de ETo 3 o que mais se aproximou do encontrado pelo método ETo 1.

Quando observado entre todos os valores mínimos, deve-se levar em consideração que as plantas encontravam-se num estágio de desenvolvimento lento, em que o porte das plantas eram pequenos, além de valores de ETo baixa, assim como, valores de ETc, e conseqüentemente, demandava menos água, estando assim, de acordo com os valores de Kc obtidos nos diferentes métodos.

Já os valores de Kc máximo encontrado, estão em concordância ao crescimento e desenvolvimento das plantas, em que, a medida que as plantas vão crescendo e se desenvolvendo, necessita de mais água, logo, o Kc precisava ser

maior para suprir a demanda. Porém, após esse pico do Kc máximo entre todos os métodos observados, percebe-se uma queda. Essa redução do Kc, pode ser justificada pela variação da ETo e ETc, que sofreram uma variação maior, nesse último período, devido o processo de senescência foliar das plantas de pinha. Esse processo também influenciou nas avaliações biométricas já citadas anteriormente.

Tabela 2. Valores periódicos dos coeficientes da cultura (Kc) da pinha, obtidos por ETo 1 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO); ETo 2 por PM-FAO e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani.

Período	ETo 1	ETo 2	ETo 3	ETo 4	ETo 5
27/09/2016	0,57	0,51	0,55	0,44	0,48
27/10/2016	1,19	0,99	1,06	0,87	0,96
29/11/2016	1,27	1,18	1,25	1,04	1,13
28/12/2016	1,33	1,21	1,28	1,12	1,22
31/01/2017	1,29	1,02	1,10	0,92	1,04

Quando observado, qual método foi semelhante ao padrão (ETo 1), sem dúvida, o ETo 3, pois apresentou valores mais próximos, tanto para mínimo e máximo, quanto, Kc médio. Estando assim, representado por: 0,57 e 0,55 para mínimos entre ETo 1 e ETo 3; os máximos de 1,33 e 1,28; e valores médios se computado, de 1,13 e 1,05, respectivamente, durante todo o período de avaliação.

A concordância do método ETo 3 com o ETo 1 são reforçados logo abaixo, na Tabela 3. Onde o índice “d” está a representar o grau de concordância, assim como o RMSE, está para a acurácia entre a combinação de ETo 1 com os outros métodos. Logo, quanto mais próximo o “d” de 1, maior a concordância, e quanto mais próximo de 0 for o RMSE, maior a acurácia. Nesse sentido, o valor de ETo 3 comparados ao método ETo 1 foi o melhor entre os demais, apresentando um d= 0,96 e RMSE= 0,03.

Em seu trabalho com mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na bacia do Jaguaribe, no estado do Ceará, Gondim et al. (2008), determinou por estimativas, diversos coeficientes de cultivo para diversas

frutíferas, dentre elas, as anonáceas, apresentando um Kc médio de 0,90. Para tanto, esse valor, vem a colaborar com o estimado pelo método de ETo 4, uma vez que, apresenta um Kc médio de 0,88.

Moura (2007) avaliando o uso da água em frutíferas irrigadas no projeto Jaíba, encontrou valores de Kc, que pode ser gerado um Kc médio de 0,45 para a cultura da pinha após a realização de poda e início da brotação, podendo ser comparado com os obtidos nessa pesquisa, o qual, diferiu dos encontrados pelos métodos de ETo 1, ETo 2 e ETo 3, correspondendo a 0,57; 0,51 e 0,55. No entanto, colabora com os obtidos por ETo 4 e ETo 5, com valores de 0,44 e 0,48, respectivamente, após o período de poda em 27/09/2016.

Observando outros trabalhos com outras culturas, Silva (2018) trabalhando com ETc da laranja lima, no mesmo tipo de solo e mesma região, no período de um ano, encontrou valores de Kc em períodos diferentes, semelhantes aos encontrados nessa pesquisa. Mesmo as duas culturas serem diferentes em fenologia e características, foi possível observar em seu trabalho, que o Kc médio encontrado foi de 0,84, valor esse semelhante ao encontrado na pesquisa que foi de 1,13, para o método padrão (ETo 1), 0,98 para ETo 2, 1,05 para ETo 3, 0,88 para ETo 4 e 0,97 para ETo 5. Logo, o Kc determinado pela metodologia de ETo 4 está a confirmar com o encontrado por Silva, (2018).

Tabela 3. Índices estatísticos de concordância do Kc pelo método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) em relação ao Kc obtido por ETo 2 por PM-FAO e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani.

ÍNDICES	ETo 2	ETo 3	ETo 4	ETo 5
d	0,91	0,96	0,81	0,90
RMSE	0,05	0,03	0,09	0,06

d é índice de concordância de Willmott; RMSE é raiz do erro quadrático médio.

Volschenk, (2017) em seu estudo num pomar de macieira adulta variedade Golden Delicious / M793, sob condições de temperatura e clima, semelhantes aos desta pesquisa, encontrou um Kc médio de 0,79 para a fase de brotação, que considerou intermediária até o início da queda das folhas, sendo característico

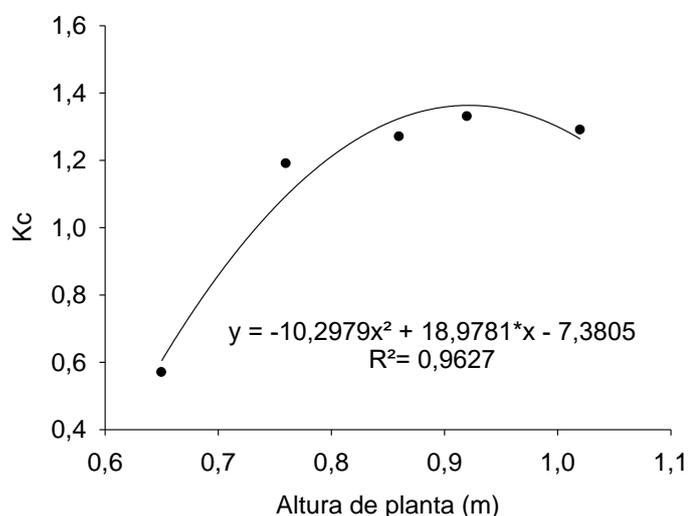
dessas plantas. Ressalta que durante as estações em estudo, correspondendo a três anos consecutivos, 2006, 2007 e 2008, valores médios de K_c sempre aumentaram durante o período de setembro a janeiro, atingindo um coeficiente de cultivo máximo de 0,81 em fevereiro. Valores esses, semelhantes aos encontrados nessa pesquisa com a estimativa de E_{To} 1 com E_{To} 4 no mesmo intervalo de tempo, setembro a janeiro, 2016 e 2017, respectivamente.

5.4 Coeficiente da cultura (K_c) x Biometria

A relação entre K_c com a variável de crescimento (altura de planta), está exposto na Figura 6. Os dados comportaram-se ao modelo de regressão quadrática, apresentando um coeficiente de determinação $R^2= 0,96$ e a altura máxima de planta de 1,02 m correspondeu ao K_c de 1,29.

O crescimento da planta em altura, não foi correspondido ao K_c máximo de 1,33 que nesse caso, a explicação se dar pelo fato da E_{To} , está elevada durante o período de dezembro, apresentando um valor médio de 5,49 mm/dia, com uma altura de planta de 0,92 m, e baixo em janeiro, a um valor médio de 4,60 mm dia⁻¹, favorecendo o crescimento da planta, mesmo com uma demanda por água reduzida, porém, satisfatória.

Figura 6. Relação entre o K_c com a análise de crescimento, altura de planta, sob o método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) no período de avaliação (setembro de 2016 a janeiro de 2017).



Para tanto, na Tabela 4 estão as equações de cada regressão determinada para cada método de Kc encontrado, em função da altura de plantas de pinha. Todos os métodos avaliados tiveram um mesmo comportamento, quadrático. Os coeficientes de determinação também estão expostos na tabela, em que, todos apresentaram um R² acima do método padrão encontrado, que foi de 0,96, enquanto que os demais foram de 0,99. Ainda é possível observar que o nível de significância nos diferentes métodos encontrados na tabela, apenas o de ETo 5 foi de 5%, enquanto que os demais foram a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4. Relação entre as alturas de plantas de pinheiras e o coeficiente da cultura (Kc) por diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência: ETo 2 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani.

Métodos	Equações	R ²
ETo 2	$y = -11,5509^{**}x^2 + 20,6839^{**}x - 8,0560$	0,9991
ETo 3	$y = -11,8492^{**}x^2 + 21,2730^{**}x - 8,2697$	0,9993
ETo 4	$y = -10,3772^{**}x^2 + 18,6794^{**}x - 7,3235$	0,9903
ETo 5	$y = -10,7263^{**}x^2 + 19,4533^{**}x - 7,6339$	0,9927

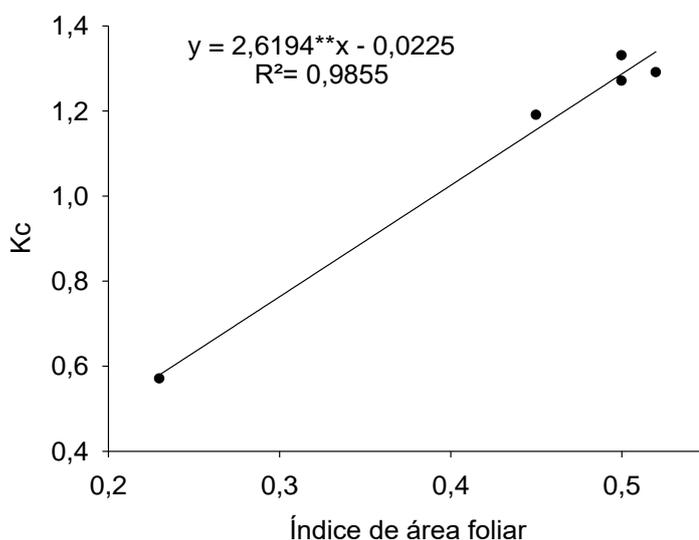
(**), (*) significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. y= Kc, X= altura de planta

A variação do Kc entre os métodos acima expostos na (Tabela 4), vem a reforçar que o aumento do Kc sofreu interferência com a variação da ETo entre os períodos avaliados.

Para a análise de crescimento índice de área foliar (IAF) os valores estão apresentados na Figura 7. Em que, os dados da relação entre o Kc com IAF, ajustaram-se ao modelo de regressão linear, com um coeficiente de determinação R²= 0,98. O IAF máximo de 0,52 foi atingido com o Kc de 1,29. No entanto, o IAF manteve-se praticamente estável com o Kc máximo de 1,33 em que, nesse período, o IAF das plantas estavam a 0,50, mantendo-se nesse patamar num intervalo de dois períodos de avaliação, sofrendo uma pequena variação de 0,02 no último período avaliado.

É notável a estabilização no IAF, mesmo com alterações no Kc. E isso acontece pelo seguinte: as plantas durante o período de novembro, dezembro e janeiro estavam passando por um processo de senescência foliar, pois com o aumento da evapotranspiração de referência e conseqüente redução da evapotranspiração da cultura, as plantas apresentaram essa queda e conseqüentemente a brotação de novas folhas e ramos, o que justifica a estabilidade e posterior variação.

Figura 7. **Relação entre o Kc com a análise de crescimento, índice de área foliar, sob o método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) no período de avaliação (setembro de 2016 a janeiro de 2017).**



Vale ressaltar que essa grande diferença entre o Kc e IAF nos dois primeiros períodos de avaliação, se deu, devido as plantas terem passado por uma poda de formação logo no primeiro período de avaliação em setembro de 2016. Poda essa, essencial no manejo da cultura, que por sua vez refletiu de forma clara nesse período. De fato, as plantas apresentavam um IAF muito baixo e que no período de avaliação seguinte, praticamente dobrou. Fato esse, justificado pela adubação realizada a cada poda que fosse realizada em que a planta é favorecida com os elementos essenciais para seu desenvolvimento, assim como, pela reação do metabolismo da planta que após essa técnica, fisiologicamente tende a produzir novas e mais folhas e ramos, assim como, aumento da demanda hídrica. Daí,

quando atingido o estágio de maturação desses órgãos vegetativos, permanece em equilíbrio.

Na Tabela 5 estão apresentados os dados da estimativa do Kc da pinha em função do IAF pelos diferentes métodos de obtenção. Para tanto, todos os métodos apresentaram um seguimento igual, onde, todos ajustaram-se ao modelo de regressão linear, porém, com variações nos seus coeficientes de R², variando de 0,88 a 0,91 assemelhando-se entre si, e diferindo do método padrão (ETo 1) com um R²= 0,98. Entretanto, todos os métodos apresentaram significância a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5. Relação entre o índice de área foliar das plantas de pinheiras e o coeficiente da cultura (Kc) por diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência: ETo 2 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani.

Métodos	Equações	R ²
ETo 2	$y = 2,2111^{**} x + 0,0091$	0,8957
ETo 3	$y = 2,3339^{**} x + 0,0211$	0,9113
ETo 4	$y = 2,0675^{**} x - 0,0317$	0,8872
ETo 5	$y = 2,3010^{**} x - 0,0465$	0,9187

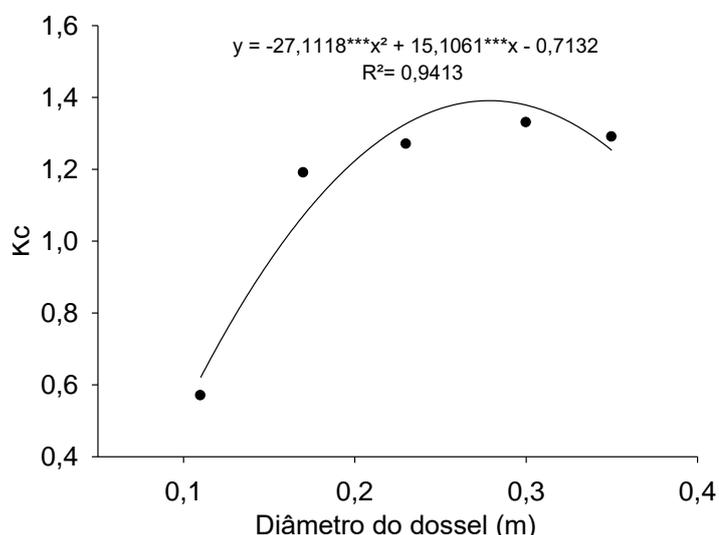
(**), (*) significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F. $y = Kc$, $X =$ índice de área foliar

A metodologia proposta por ETo 4, percebe-se, que devido a sua grande variação nos valores de Kc, entre 0,44 e 1,12, sendo o menor e o maior, respectivamente, é o método que demonstra um menor R²= 0,88.

Em relação ao diâmetro do dossel (Figura 8), o modelo que melhor se ajustou foi o quadrático, com um R²= 0,94. O maior diâmetro de 0,35 m correspondeu assim como na altura de planta, ao Kc médio de 1,29. Apresentando-se estável nos dois últimos períodos avaliados, correspondendo a dezembro e janeiro com Kc de 1,33 o máximo e 1,29, respectivamente. Nesse caso, o Kc não acompanhou o crescimento em diâmetro, porém, essa reação é explicada pelo fato da diminuição da Eto e ETc no último período de avaliação, fazendo com que, o Kc seja reduzido.

O Kc obtido pelo método padrão de estimativa da ETo, apresentou grande variação apenas entre o Kc do período inicial de 0,57, entre o segundo período de 1,19, pois, comparando com os demais, mantiveram estáveis, diferindo da variação em diâmetro, uma vez, que o diâmetro do dossel a partir da poda, no período de avaliação inicial, é de 0,11, mantendo-se estável na diferença entre os demais períodos de avaliação, pois a diferença fica entorno de 0,06 m de um período avaliado a outro, mesmo com aumento do Kc.

Figura 8. **Relação entre o coeficiente da cultura (Kc) com a análise de crescimento, diâmetro do dossel, sob o método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) no período de avaliação (setembro de 2016 a janeiro de 2017).**



Na Tabela 6 consta as equações dos diferentes métodos, com seus respectivos seguimentos perante o Kc em função do diâmetro do dossel.

Tabela 6. **Relação entre o diâmetro do dossel das plantas de pinheiras e o coeficiente da cultura (Kc) por diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência: ETo 2 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani.**

Métodos	Equações	R ²
ETo 2	$y = -30,0613^{**}x^2 + 15,9273^{**}x - 0,0868$	0,9965
ETo 3	$y = -30,9012^*x^2 + 16,4447^*x - 0,8735$	0,9951
ETo 4	$y = -26,8279^{**}x^2 + 14,3909^*x - 0,8167$	0,9902
ETo 5	$y = -27,8599^{**}x^2 + 15,1439^{**}x - 0,8401$	0,9904

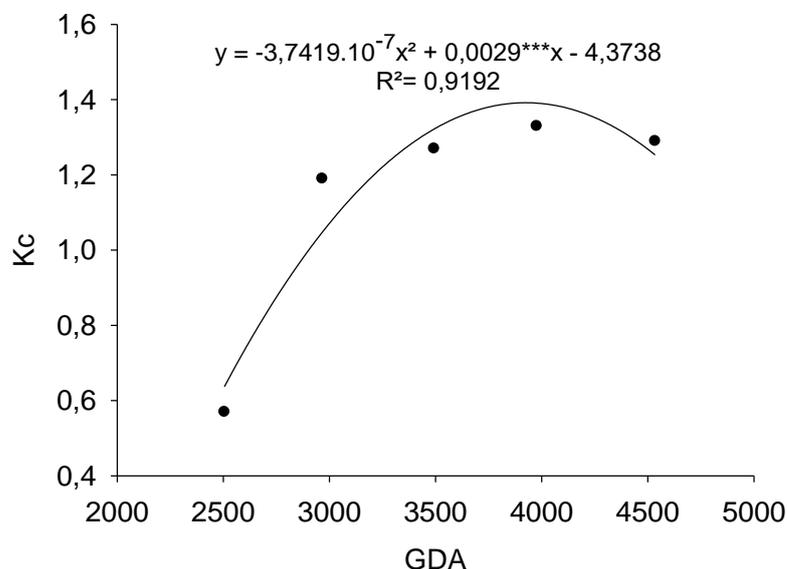
(**), (*), (***) significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste F. $y = Kc$, $X =$ diâmetro do dossel

Ambos os métodos apresentaram-se semelhantes em relação ao ajuste de dados, sendo, quadrático, e um coeficiente de determinação $R^2 = 0,99$, diferindo-se apenas do método ETo 1 com um $R^2 = 0,94$. O grau de significância por sua vez apresentou variação entre 0 a 10 e ETO 3 a 5% de probabilidade pelo teste F. Enquanto que os demais métodos BT, ETo 4 e ETo 5 foram significativos a 1%.

5.5 Coeficiente da Cultura (Kc) x Graus-dia e Dias Após o Transplântio

O Kc em relação ao GDA estão apresentados na Figura 9, em que os dados melhor ajustaram-se a uma regressão quadrática e apresentou um $R^2 = 0,91$. E GDA entre 2500 e 4550 GDA, sendo o menor e maior, respectivamente.

Figura 9. Relação entre o coeficiente da cultura (Kc) com os graus dias acumulados (GDA), sob o método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) no período de avaliação (setembro de 2016 a janeiro de 2017).



Os valores de GDA não segue o aumento do Kc, visto que, quando o Kc diminui de 1,33 para 1,29 ele permanece aumentando, reafirmando-se, que o GDA vai de encontro ao crescimento da planta e seu período de crescimento. Esse comportamento também pode ser observado na Tabela 7, pelos diferentes métodos de Kc encontrado.

Como no método PM, os dados melhor ajustaram-se ao modelo quadrático, porém, ao contrário do PM, que apresentou um $R^2 = 0,91$ os demais métodos de ETo 1, ETo 2, ETo 3, ETo 4 e ETo 5 apresentaram um coeficiente de determinação melhor, variando de 0,98 a 0,99. Já o nível de significância apresentou variação entre 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste F, entre os diferentes métodos.

Tabela 7. Relação entre o graus dias acumulados (GDA) e o coeficiente da cultura (Kc) por diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência: ETo 2 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani.

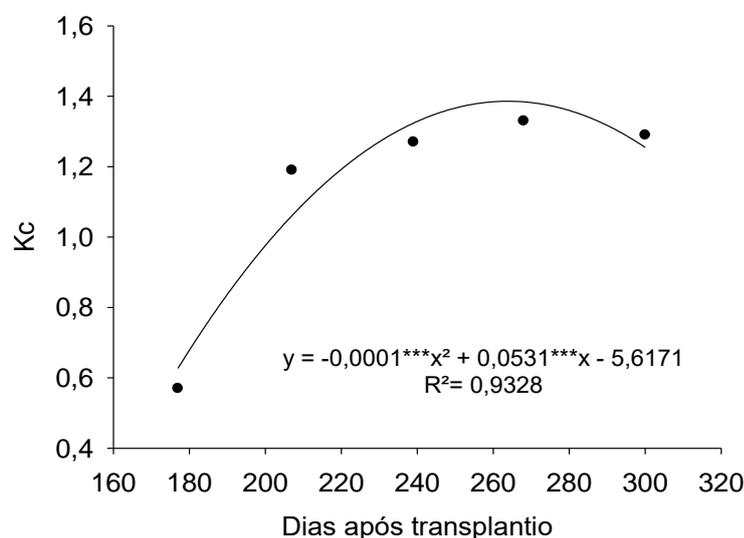
Métodos	Equações	R ²
ETo 2	$y = -4,2335 \cdot 10^{-7} x^2 + 0,0032^{**} x - 4,8696$	0,9901
ETo 3	$y = -4,3423 \cdot 10^{-7} x^2 + 0,0033^* x - 4,9870$	0,9863
ETo 4	$y = -3,8354 \cdot 10^{-7} x^2 + 0,0029^{**} x - 4,4822$	0,9903
ETo 5	$y = -3,9751 \cdot 10^{-7} x^2 + 0,0031^* x - 4,6759$	0,9862

(**), (*), (***) significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste F. $y = Kc$, $X = GDA$

A relação entre Kc com os dias após o transplântio (DAT) se dá a um ajuste de valores ao modelo de regressão quadrática, com um $R^2 = 0,93$ (Figura 10). A medida que as plantas vão se desenvolvendo ao passar dos dias, o Kc aumenta, apresentando um pico máximo de 1,33 aos 268 DAT. Nesse momento as plantas estão com uma demanda hídrica maior para o seu desenvolvimento. Como já observado anteriormente, estavam passando por um processo de renovação das folhas e ramos. Que quando estabilizado aos 300 DAT, seu Kc diminui.

Em estudo com macieira, Volschenk (2017) também encontrou redução dos valores de Kc, após as plantas terem passado por uma poda severa no dossel, o que resultou numa menor ETc. De fato, por mais que não tenha sido realizado uma poda severa no pomar de pinha, as plantas passaram por uma poda, o que justifica essa redução de 1,33 para 1,29 do Kc, além da alteração do conteúdo de água no solo, já citado anteriormente.

Figura 10. Relação entre o coeficiente da cultura (Kc) com os dias após o transplântio (DAT), sob o método Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) no período de avaliação (setembro de 2016 a janeiro de 2017).



Já na Tabela 8 estão as equações as quais os dados dos diferentes métodos de estimativa de Kc melhor se ajustaram. Nesse caso, o ajuste se deu ao modelo quadrático com um ótimo $R^2= 0,99$, variando apenas o método de ETo 5 sendo $R^2= 0,98$. Todavia, os coeficientes apresentaram-se superior ao método ETo 1, com um $R^2= 0,93$.

Tabela 8. Relação entre os dias após o transplântio (DAT) e o coeficiente da cultura (Kc) por diferentes métodos de determinação da evapotranspiração de referência: ETo 2 por Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO) e Irradiação Solar global (Hg) por Bristow e Campbell; ETo 3 por PM-FAO e Hg por Hargreaves e Samani; ETo 4 por Hargreaves e Samani e Hg por Bristow e Campbell; ETo 5 por Hargreaves e Samani e Hg por Hargreaves e Samani.

Métodos	Equações	R^2
ETo 2	$y= -0,0001^{**}x^2 + 0,0580^{**}x - 6,1955$	0,9950
ETo 3	$y= -0,0001^{**}x^2 + 0,0597^{**}x - 6,3540$	0,9923
ETo 4	$y= -0,0001^{**}x^2 + 0,0526^{**}x - 5,6653$	0,9922
ETo 5	$y= -0,0001^{*}x^2 + 0,0549^{*}x - 5,9123$	0,9899

(**), (*), (***) significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade pelo teste F. $y= Kc$, $X= DAT$

O mesmo ocorreu para o nível de significância. Enquanto que ETo 2, ETo 3 e ETo 4 foram significantes a 1% de probabilidade pelo teste F, apenas o ETo 5 apresentou significância a 5%. Já o ETo 1 diferiu de todos, apresentando significância apenas a 10% de probabilidade pelo teste F.

5.6 Balanço Hídrico

O conteúdo de água no solo (ARM) estimado pelo método do balanço hídrico apresentou valores (Figura 11), semelhantes aos obtidos em campo, usando a técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR). Podendo ser observado a variação da umidade durante todo o período avaliado, que este, por sua vez, está a corresponder com os dias após o transplântio.

A princípio, o armazenamento de água no solo manteve-se estável em ambos os métodos: balanço hídrico, como estimado e o observado pela TDR. Podendo ser observado na Tabela 9 a análise variância em que, apresenta significância pelo Test-t a nível de 5% de probabilidade.

Tabela 9. Análise Estatística do Balanço hídrico de Thornthwaite e Mather pelo (Teste t).

Armazenamento	N	Média	SD	SEM
ARM Observado	45	16,42*	5,6894	0,8481
ARM Estimado	45	17,42*	5,6411	0,8468

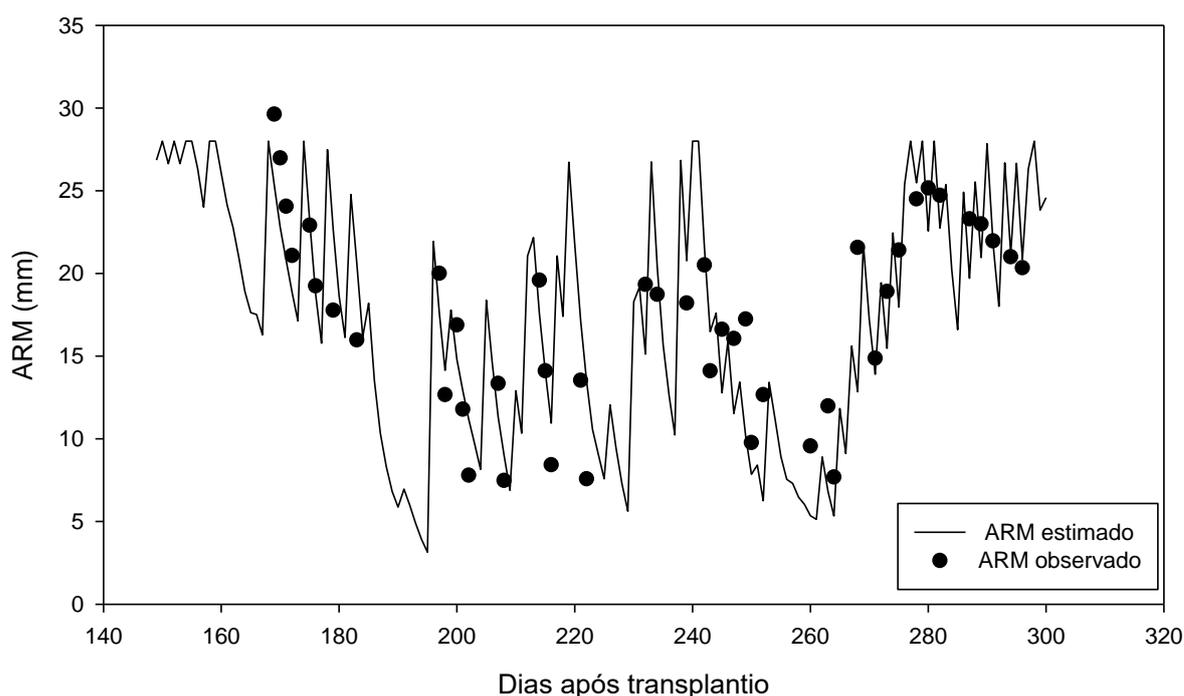
^{ns} é não significativo, * é significativo ao nível de 5% de probabilidade. N= número de observações; SD= soma dos quadrados e SEM= soma dos quadrados médios.

O estimado na sua maior parte esteve numa zona de umidade acima dos 15,0 mm, em que, o conteúdo de água, estava na sua maior parte do tempo, próximo à capacidade de água disponível para este tipo de solo, que era de 28 mm.

A precipitação durante o período de avaliação setembro de 2016 a janeiro de 2017 (Tabela 2) é considerada um dos fatores essenciais para manter a umidade no solo, e veio a interferir com mais intensidade nas primeiras avaliações dos DAT, que quando observado a distribuição da umidade, percebe-se uma oscilação entre os armazenamentos. Outro fator a ser levado em consideração e observado é que as plantas foram cultivadas com a presença de cobertura vegetal nas entre linhas do plantio, ressaltando-se ainda, que eram gramíneas, onde o sistema radicular

dessas gramíneas encontra-se distribuído nos primeiros 20 cm de profundidade do solo. Profundidade essa, em que está retida a maior parte das raízes das plantas de pinha em estudo, assim como, o conteúdo de água disponível.

Figura 11. **Armazenamento observado (TDR) e estimado, método (Balanço Hídrico - Thornthwaite) no solo cultivado com a cultura da pinha na fase inicial de crescimento.**



O armazenamento de água a partir dos 185 aos 270 DAT apresentou claramente a interferência das plantas daninhas no armazenamento de água no solo. Entretanto, o crescimento e desenvolvimento das plantas de pinha fizeram com que o consumo de água aumentasse e sua absorção ocorresse mais rápida, uma vez que, todas as variáveis de crescimento (altura de planta, diâmetro do dossel e índice de área foliar), apresentam-se no seu maior desenvolvimento como citado anteriormente.

A partir dos 268, quando as plantas apresentavam um crescimento estável entre 0,92 e 1,02 m, e o controle de plantas daninhas passou a ser mais rigoroso devido às condições meteorológicas, que se encontrava no período seco (verão), a competição por água diminuiu favorecendo assim, o equilíbrio entre o armazenamento estimado e o observado, apresentando valores próximos à capacidade de água disponível, estando entorno de 20,0 a 26,0 mm.

Observando variação da umidade do solo no intervalo de tempo de 185 a 270 DAT já mencionado, Allen et al., (2006) em seus estudos, justificam essa variação do conteúdo de água no solo, como sendo a atuação das forças que atuam na água do solo, pois há uma queda no potencial matricial o que torna menos disponível para a cultura. Logo, quando o solo está próximo à capacidade de água disponível de 20,0 a 26,0 mm a dispersão entre os armazenamentos são semelhantes. Ainda reforça que, em solos com baixos teores de água, esta é retida por capilaridade e dentre outras forças de adsorção pela matriz do solo, em que será menos extraída pela cultura. Carvalho, (2003), afirma que é típico desse solo absorver a água com facilidade, porém, seca rápido, com isso, a umidade não chegou a ser totalmente quantificada pela TDR, o que reflete também, no estimado, uma vez que, o sistema radicular das plantas de pinha está entorno dos 30 cm, assim como, as sondas de TDR.

Na Tabela 9, estão apresentados dados dos componentes do balanço hídrico de Thornthwaite em diferentes fases de avaliações. Nesse período em que foram realizadas as observações, a precipitação estava baixa, o que necessitava de um complemento, a irrigação. Ao averiguar o primeiro período de avaliação, observa-se uma precipitação somada à irrigação, com valores baixos, isso em função da interferência do período chuvoso. Já comparando os valores da precipitação com a irrigação entre a primeira fase em setembro e a última em janeiro, percebe-se uma diferença de aproximadamente três vezes. Para tanto, os dados de ETo correspondem ao do método padrão (ETo 1), apresentando proximidade entre os períodos avaliados de novembro com máxima de 172,82 e janeiro 167,40. No entanto, os valores de Kc não responderam ao aumento da ETo no período de outubro e janeiro, apresentando valores de Kc 1,27 e 1,29 respectivamente. Já a deficiência hídrica (DEF), por sua vez, apresentou valor máximo de 73,43 mm no período de outubro sendo, a necessidade de água para suprir o conteúdo de água perdido.

Os períodos de avaliações estendidos de setembro a outubro 2016 apresentam valores de precipitação com irrigação abaixo dos demais, em função do período chuvoso ter ocorrido com maior intensidade até outubro, refletindo assim, nos dados de ETo, Kc, ETc, que também seguiram em crescimento com a interferência da precipitação somada a irrigação. Já a DEF, não acompanhou essa

sequência de aumento entre as duas primeiras avaliações, uma vez que, depende não só da precipitação e irrigação, mas principalmente, da ETc e da ETR.

Tabela 10. Valores dos componentes do balanço hídrico Thornthwaite sob períodos de avaliações, a partir da ETo padrão, durante o período de avaliação experimental.

Período	P + I	ETo	Kc	ETc	ETR	DEF
27/09/2016	77,68	114,57	0,57	65,30	58,60	6,71
27/10/2016	112,44	152,59	1,19	181,58	121,30	60,29
29/11/2016	154,43	172,82	1,27	219,48	146,06	73,43
28/12/2016	144,11	156,19	1,33	207,73	155,80	51,93
31/01/2017	212,38	167,40	1,29	215,94	192,80	23,15

Em que: P + I é Precipitação+ Irrigação; ETo é Evapotranspiração de Referência (mm); Kc é o coeficiente de cultivo; ETc é Evapotranspiração da cultura (mm); ETR é Evapotranspiração Real (mm); DEF é Deficiência hídrica.

Fonte: Autor, (2018).

6. CONCLUSÕES

Na fase inicial do cultivo de pinha em Rio Largo as variáveis de crescimento (altura de planta, índice de área foliar e diâmetro do dossel), graus dia e dias após o transplântio predizem o coeficiente da cultura através de equações quadráticas.

Os métodos de determinação da evapotranspiração analisados tiveram bons desempenhos para a obtenção do coeficiente da cultura.

O Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather 1955 apresentou coerência entre os dados de umidade estimados pelo balanço e o medido pela técnica da TDR.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. **FAO**, (Irrigation and drainage paper, 56) Rome, 328 p.1998.

ALLEN, R. G. Footprint analysis to assess the conditioning of temperature and humidity measurements in a weather station vicinity. In: Paper presented at the 2006 World and Environmental Resources Congress of the American Society of Civil Engineers and Environmental and Water Resources Institute, Omaha, NE, May 22-25, 2006, Published on CD-ROM, ASCE, 12p. 2006.

ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 899-920, 2011.

ARAÚJO, J. F.; LEONEL, S.; PEREIRA NETO, J. Adubação organomineral e biofertilização líquida na produção de frutos de pinheira (*Annona squamosa* L.), no submédio São Francisco, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.24, n.4, p.48-57, 2008.

ARAÚJO, J. F.; ARAÚJO, J. F.; ALVES, A. A. C. Instruções técnicas para o cultivo da pinha (*Annona squamosa* L.). Salvador: EBDA, il.(EBDA. Circular Técnico, n. 7). 44p,1999.

BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003.

BONACHELA, S.; ORGAZ F.; VILLALOBOS, F. J.; FERERES, E. Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. **Irrigation Science**, Córdoba, v.20, p. 65-71. 2001.

BRAGA, M. B.; CALGARO, M., MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. Coeficientes do tanque classe "A" para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, n.1, p.49-57, 2008.

BRANDELERO, E. M.; PEIXOTO, C. P.; SANTOS, J. M. B. S.; MORAES, J. C. C. M.; SILVA, V. Índices fisiológicos e rendimento de cultivares de soja no recôncavo baiano. **Magistra**, v. 14, n. 2, p. 77-88, 2002.

BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.31, p.159-166, 1984. DOI: 10.1016/0168-1923(84)90017-0.

CARNEIRO, R. L. C. et al. Water consumption in eucalypt plantation: part 1 determination of stomatal conductance in irrigated and non-irrigated treatments. **Revista Árvore**, v. 32, p. 1-10, 2008.

CARVALHO, O. M. **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio Largo cultivados com cana-de-açúcar**. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2003.

CARVALHO, D.F. de; ROCHA, H.S. da; BONOMO, R.; SOUZA, A.P. de. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.1-11, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000100001.

CAVALCANTI, F. J. de A. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco**: 2a. aproximação. 2 ed. Recife. Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Evapotranspiração de referência com base na radiação solar global estimada pelo método de bristow-campbell. **Eng. Agríc. Jaboticabal**, v. 30, n, 4, p. 619 – 626, jul/ago. 2010.

COSTA, G. A. **Avaliação da disponibilidade hídrica para o milho na região de Rio Largo**. 2003. 21 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2003.

CUNHA, A. C. et al. Relation of climate variables with eucalypt minicutting production and rooting. **Revista Árvore**, v. 33, p. 195-203, 2009.

DAUGHTRY, C.S.T. Direct measurements of canopy structure. **Remote Sens. Rev.** 5, 45–60, 1990.

DIAS, N. O.; SOUZA, I. V. B.; SILVA, J. C. G.; SILVA, K. S.; BOMFIM, M. P.; ALVES, J. F. T.; REBOUÇAS, T. N. H.; VIANA, A. E. S.; SÃO JOSÉ, A. R. Desempenho vegetativo e reprodutivo da pinheira (*Annona squamosa* L.) em função de diferentes comprimentos de ramos podados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 26(3), 389-391 (2004).

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

FACHINELLO, J.C.; NACHTIGAL, J.C.; KERSTEN, E. Poda das plantas frutíferas. In: FACHINELLO, J.C.; NACHTIGAL, J.C.; KERSTEN, E. Fruticultura: fundamentos e práticas. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. p.93-102.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. FAOSTAT. Disponível em: <http://www.faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 27 Fev. 2017.

FERREIRA, G.; ERIG, P.R.; MORO, E. Giberellic acid use on sugar apple (*Annona squamosa* L.) seeds aiming seedling production in different packs. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 1728-182, 2002.

FERREIRA, T.T.S.; RODRIGUES, D.N.B.; GOMES FILHO, R.R. Demanda hídrica de fruteiras utilizando coeficiente de redução da evapotranspiração adequado a região do baixo jaguaribe no ceará . **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.4, p.217-225, 2010.

FERREIRA JUNIOR, R.A.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I. ; LYRA, G. B. ; CANTALICE-SOUZA, R. ; ARAUJO NETO, R. A. . (ISSN 1807-1929) Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)*, v. 18, p. 322-328-328, 2014.

GCEA/IBGE. Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**, Levant. Sistem. Prod. Agríc. Rio de Janeiro v.26 n.9, 2013.

GONDIM, R.S.; CASTRO, M. A. H. de; MEDEIROS, S. R.; TEIXEIRA, A. dos S.; FUCK, Jr., S. C. de F. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 43, n. 12, p. 1657-1664, 2008.

Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. Estimating potential evapotranspirations. *Jornal Irrig. Drain. Eng.* 30, p. 108-225, 1982.

Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Eng. Agric.* 1 (2), p. 96-99, 1985.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário**. Rio de Janeiro, 2009.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário**. Rio de Janeiro, 2005.

KASHYAP, P.S. PANDA R.K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop coefficients for potato crop in a sub-humid region. *Agricultural Water Management* 30, p. 9-23, 2001.

KAVATI, R. Melhoramento em Fruta-do-conde. In: São José, A. R., Souza, I.V.B., Morais, O.M., Rebouças, T.N.H. Anonáceas, produção e mercado (Pinha, graviola, atemóia e cherimóia). Vitória da Conquista (BA). DFZ/UESB, p.47-54, (1997).

KAWATI, R. O cultivo da atemóia. In: DONADIO, L. C.; MARTINS, A. B. G.; VALENTE, J. P. (Ed.). *Fruticultura Tropical*. Jaboticabal: FUNEP, 1992.

KRAMER, P. J. Measurement of plant water status: historical perspectives and current concerns. *Irrigation Science*, v.9, p.275 - 287, 1988.

LEMOS, E. E. P. A produção de anonáceas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, edição especial, e., p. 077-085, Janeiro 2014.

MEDEIROS, A. T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraíba, CE. 2002. 95f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz: Universidade de São Paulo, 2002.

MORAIS, E. R. C. de. et al. Crescimento e produtividade do meloeiro Torreon influenciado pela cobertura do solo. *Acta Scientiarum. Agronomy* . Maringá, v. 32, n. 2, p. 301-308, 2010.

MOSCA, J.L.; CAVALCANTE, C.E.B.; DANTAS, T.M. Características Botânicas das Principais Anonáceas e Aspectos Fisiológicos de Maturação. Embrapa Agroindústria Tropical, Documentos, 106. 28p. 2006.

MOURA, B. R. **Avaliação do uso da água em fruteiras irrigadas no projeto jaíba**. 2007. 96 F. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2007.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada

em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco - Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.

NIETSCHE, S.; PEREIRA, Marlon Cristian Toledo; MIZOBUTSI, E. ; XAVIER, Adelica Aparecida. Injuria por Frio (Chilling): Um alerta aos produtores de pinha do Norte de Minas Gerais. Montes Claros: UNIMONTES, 2008 (Boletim Técnico).

OLIVEIRA, L.C.; TAVARES, J.C.; RODRIGUES, G.S.O.; MARACAJÁ, P.B.; SILVA, M. L.S. Efeito de diferentes substratos na germinação de sementes e formação inicial de plântulas de graviola. *Revista Verde*, v.4, n.1, p.90-97, 2009.

OLIVEIRA, Z.P.O.; QUEIROZ, F.M.; BARROS, P.G.; CAMPOS, R.S.; LEMOS, E.E.P.; NETO, J.P.S. **Recomendações técnicas para a cultura da pinheira**. Maceió: SEAGRI, 2005. 56p. (Boletim, 1).

OMETTO, J.C. *Bioclimatologia Tropical*. São Paulo: Ceres, p.390-398, 1981.

POULOVASSILIS, A. et al. Semi-empirical approach for estimating actual evapotranspiration in Greece. ***Agricultural Water Management***, v. 51, p. 143-152, 2001.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. ***Engenharia Agrícola***, Jaboticabal, v.16, n.4, p. 118-43, 1997.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. Lond.* A193, 116-140, 1948.

PEREIRA, M.C.T.; BRAZ, L.C.; NIETSCHE, S.; DA MOTA, W.F. Determining the harvesting maturity of the sugar apple fruits on northern Minas Gerais . ***Acta Horticulturae***, The Hague, v.864, 2010.

PELINSON, GILBERTO JOSÉ BATISTA et al. Análise do custo de produção e lucratividade na cultura de pinha (*Annona squamosa* L.) na região de Jales-SP, ano agrícola 2001-2002. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Sociedade Brasileira de Fruticultura, v. 27, n. 2, p. 226-229, 2005.

PINTO, A.C.Q.; CORDEIRO, M.C.R.; ANDRADE, S.R.M.; FERREIRA, F.R.; FILGUEIRAS, H.A.C.; ALVES, R.E.; KIMPORA, D.J. **Fruits for the future 5: Annona species**. Southampton: IPGRI, 2005. 263p.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. weath. Rev.* 100, p. 81-92, 1972.

RANA, G.; KATERJI . Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. **European Journal of Agronomy**. v.13, p. 125–153, 2000.

RAZIEI, T.; PEREIRA, L.S. Estimation of ETo with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural Water Management**, v.121, p.1-18, 2013. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.12.019.

REICHARDT, Klaus. **A água na produção agrícola**. São Paulo: Mc- Graw-hill, 1978.

RICHARD, G. A.; LUIS, S. P.; TERRY, A. H.; MARVIN, E. J. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. **Agricultural Water Management**. 921-929, 2011.

SANTOS, C. M. SOUZA, J. L.; FERREIRA JUNIOR, R.A. TIBA, G.; MELO, R. O.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; LEMES, M. A. M. On modeling global solar irradiation using air temperature for Alagoas State, Northeastern Brazil. *Energy*, v. 71, p. 388-398, 2014.

SÃO JOSÉ, R. A.; SOUZA, I. V. B.; MORAIS, O. M.; REBOUÇAS, T. N. H. anonáceas, Produção e mercado (Pinha, Graviola, Atemóia e cherimólia). Vitória da Conquista - BA. DFZ/UESB, 310p. 1997.

SARMENTO, P. L. V. S. **Ecofisiologia do milho sob diferentes épocas de semeadura e densidade de plantio**. 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2015.

SASSENDRAN, S. Simulation of crop evapotranspiration and crop coefficients with data in weighing lysimeters. **Agricultural Water Management**. v. 177, p. 274-283, 2016.

SEAGRI - SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA, PESCA E AQUICULTURA DO ESTADO DE ALAGOAS. Produtores de pinha ganham novo impulso em Alagoas Disponível em <<http://www.agricultura.al.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/2009/produtores-de-pinha-ganham-novo-impulso-em-alagoas> > Acessado em 28 de abril de 2018.

SHARMA, et al. Soil moisture sensor calibration, actual evapotranspiration, and crop coefficients for drip irrigated greenhouse chile peppers. **Agricultural Water Management**. v. 179, p. 81-91, 2017.

SILVA, T. G. F da; ZOLNIER, S.; MOURA, M. S. B de; SEDIYAMA, G. C.; STEIDLE NETO, A. J; SILVA JÚNIOR, J. L. C. da. Potencial agroclimático para o cultivo da atemóia (*Annona cherimola* Mill. x *Annona squamosa* L.) no estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 14, p. 261-271, 2006.

SILVA, J. C. G.; CHAVES, M. A.; SÃO JOSÉ, A. B.; REBOUÇAS, T. N. H.; ALVES, J. F. T. A influência da cobertura morta sobre características físicas e químicas de frutos da pinha (*Annona Squamosa* L.) **Revista Brasileira de Fruticultura**. vol.29, n.2, São Paulo 2007.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. S.; CARMO, F. F.; LEDO, E. R. F.; SILVA FILHO, J. A. . Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Hargreaves-Samani no estado do Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 9, p. 132-141, 2015.

SILVA, R. B. **Evapotranspiração real na fase inicial de crescimento da cultura da laranja lima**. 2018. 58 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2018.

SOUZA, J. L.; Moura Filho, G.; Lyra, R. F. F.; Teodoro, I.; Santos, E. A.; Silva, J. L.; Silva, P. R. T.; Cardim, A. H.; Amorim, E. C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período 1972-2001. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.2, p. 131-141, 2004.

SOUZA, J. L.; NICÁCIO, R. M.; MOURA, M. A. L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. **Renewable Energy**, v. 30, n. 8, p. 1203-1220, 2005.

SOUZA, I.V.B.; SÃO JOSÉ, A.R.; REBOUÇAS, T.N.H.; PIRES M.M. DE; MORAIS, O.M.; VIANA, A.E.S.; DIAS, N.O.; BOMFIM, M.P. Efeito do desbaste de frutos na produção e comercialização de pinha (*Annona squamosa* L.). *Magistra*, Cruz das Almas BA, v.24, n.2, 2012.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol.VIII, n.1).

TURC, L. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Ann. Agron.* 12, p. 13-49. 1961.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 516-523, 2009.

VIANA, J. S. **Implantação de um Pomar de Pinha irrigado no Distrito Federal.** Boletim Técnico UPIS. Brasília, DF. 2005. 37p.

VOLSCHENK, T. Evapotranspiration and crop coefficients of Golden Delicious / M793 apple in the Koue Bokkeved. *Agricultural Water Management*. Elsevier B.V. All rights reserved. 194, p. 184-191, 2017

WATSON, D.J. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Ann. Bot.* 11, 41–76. 1947.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. ***Physical Geography***, v.2, n. 2, p. 184-194, 1981.