

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA  
Autorização Decreto nº 9237/86. DOU 18/07/96.  
Reconhecimento: Portaria 909/95, DOU 01/08-95  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS  
SOCIAIS  
CAMPUS III – JUAZEIRO  
Colegiado de Engenharia Agrônômica



**ALLAN VICTOR ARAÚJO PEREIRA**

**MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE VAPOR D'ÁGUA  
PARA ATMOSFERA**

**JUAZEIRO – BA  
2021**

**ALLAN VICTOR ARAÚJO PEREIRA**

**MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE VAPOR D'ÁGUA  
PARA ATMOSFERA**

Revisão bibliográfica apresentada à Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB/DTCS Campus III, Colegiado de Engenharia Agrônômica, como pré-requisito para a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

**ORIENTADORA: PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. GERTRUDES MACÁRIO DE OLIVEIRA**

**JUAZEIRO-BA  
2021**

Autorização Decreto nº 9237/86. DOU 18/07/96. Reconhecimento: Portaria 909/95, DOU 01/08-95

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIAS E CIÊNCIAS SOCIAIS -CAMPUS III – JUAZEIRO

## ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos quinze dias do mês de julho de 2021, às 15:00 horas, em sessão pública on line na plataforma Microsoft Teams, a Banca Examinadora presidida pela Professora Gertrudes Macário de Oliveira e composta pelos examinadores: Dra. Regiane de Carvalho Bispo e o Eng. Agron. Thiago Francisco de Souza Carneiro Neto, o discente Allan Victor Araújo Pereira apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Métodos de quantificação da transferência de vapor d'água para atmosfera como parte dos requisitos da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso (AGR152). Após reunião em sessão reservada, a Banca Examinadora atribuiu conceito de 9,0 (nove vírgula zero) ao referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes. E eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente Ata que será assinada por mim e pelos demais componentes da Banca Examinadores.

*Gertrudes Macário de Oliveira*

\_\_\_\_\_  
Presidente e Orientador

*Regiane de Carvalho Bispo*

\_\_\_\_\_  
Avaliador 1

*Thiago Francisco de Souza Carneiro Neto*

\_\_\_\_\_  
Avaliador 2

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
por Regivaldo José da Silva/CRB-5-1169

P436m      Pereira, Allan Victor Araújo

Métodos de quantificação da transferência de vapor d'água para atmosfera / Allan Victor Araújo Pereira. Juazeiro-BA, 2021.  
31 fls.: il.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gertrudes Macário de Oliveira.  
Inclui Referências

TCC (Graduação - Engenharia Agrônoma) – Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais. Campus III. 2021.

1. Evapotranspiração de referência. 2. Penman-Monteith.  
3. Irrigação. 4. Lisimetria. I. Oliveira, Gertrudes Macário de.  
II. Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais. III. Título.

CDD: 631.587

Dedico essa conquista a toda minha família, em especial para minha mãe Maria Veronilde de Araújo, minhas avós que sonharam tanto e me deram forças, mas infelizmente não puderam prestigiar este momento.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar forças nos momentos mais difíceis, paciência e discernimento para todas as situações para que eu pudesse chegar até o fim.

A minha mãe Maria Veronilde de Araújo por não me deixar desistir e sempre me cobrar resultados para que eu venha me tornar um bom profissional.

Ao meu padrasto Gercino Dias de Sousa por ser um exemplo de paciência e palavras de incentivo durante todo esse processo.

Ao meu pai Nilton Dias Pereira por colaborar para que eu pudesse correr em busca dos meus sonhos e me apoiar em minhas decisões.

As minhas avós Maria da Conceição Araújo (Dona Têca) e Ariolina Dias dos Santos (Lió) que sempre sonharam com esse tão esperado momento, mas que por ironia do destino, cumpriram suas missões antes que essa conquista viesse a se concretizar.

Aos meus irmãos Geovane Araújo Sousa, Gisele Araújo Sousa e Vanessa Victoria Araújo Pereira que sempre estavam ao meu lado nos momentos difíceis, noites viradas estudando e crises de ansiedade, assim como permanecerão em todas as vitórias que estão por vir.

A minha namorada Camilla Pereira Silva que fez parte de toda esta caminhada e nunca me deixou fraquejar e sempre me deu apoio.

A minha orientadora Professora Doutora Gertrudes Macário de Oliveira por me acolher em sua equipe de pesquisa desde o início da graduação e sempre buscar ensinar não só os assuntos acadêmicos, mas também passar valores morais para que eu pudesse me tornar um profissional ético e honrado.

Aos amigos Daniel Barros, Luciano Roniê, Julio Cesar, Francisco Camilo, Wesley Oliveira, Iris Gonçalves, Gabriela Vieira, Thayanne Soares, Naiane Santos, e os demais colegas que tive o prazer de dividir essa caminhada.

Aos amigos que fiz durante esse período de pandemia que serviram de pilar para sanidade mental uns dos outros nesse momento em que não podemos estar juntos.

À Universidade do Estado da Bahia através de toda sua equipe de docentes, funcionários do campo, dos laboratórios, bibliotecários e demais. A todos os meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O constante debate sobre as formas de produção de alimentos visa cada dia mais buscar por uma agricultura sustentável, reduzindo os danos ao meio ambiente, e tendo em vista que o maior percentual de água potável é utilizado na agricultura, ações no sentido de assegurar os recursos hídricos para as gerações futuras são imperativas. Neste contexto, o manejo eficiente da irrigação é hoje uma prática indispensável, que visa a conservação dos recursos hídricos e terrestres. Contudo, na maioria dos casos os produtores ainda não utilizam práticas de manejo de irrigação, o que na maioria das vezes irá acarretar excesso ou deficiência hídrica para as culturas. Atualmente existem diversos métodos para quantificar adequadamente a água a ser aplicada aos cultivos, entre esses, métodos diretos e indiretos. A utilização desses métodos contribui para um manejo racional da irrigação e conseqüentemente, economia de recursos hídricos e energia. Diante do exposto, objetivou-se no presente estudo fazer um levantamento, através do método de revisão bibliográfica, das diferentes formas e ferramentas utilizadas para quantificar a transferência de vapor d'água para atmosfera, suas limitações e a efetividade de cada uma delas no manejo da irrigação, quando comparadas ao método padrão da FAO.

**Palavras-Chave:** Evapotranspiração de referência; Penman-Monteith; irrigação; lisimetria.

## ABSTRACT

The constant debate on the forms of food production aims more and more at the search for sustainable agriculture, reducing damage to the environment; and, considering that the largest percentage of potable water available is used in agriculture, actions to assure water resources for future generations are necessary. Therefore, efficient irrigation management is nowadays an indispensable practice, considering that the adoption of rational soil and water conservationist management techniques is fundamental for sustainability. Currently, there are several direct and indirect methods to define the amount of water that should be applied to crops. Nevertheless, in most cases, producers still adopt inefficient methods, which in most cases do not provide crops with adequate irrigation, which may even cause production losses. The use of these methods contribute to an adequate management of irrigation and, consequently, savings in water and energy resources. Given the above, the objective of this paper was to search, through the literature review method, the different forms and tools used to quantify the transfer of water vapor to the atmosphere, their limitations and the effectiveness of each of them in irrigation management, when compared to the standard FAO standart.

**Palavras-Chave:** Reference evapotranspiration; Penman-Monteith; irrigation; lysymetry.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Tanque Classe A instalado no departamento de tecnologias e Ciências Sociais do Campus III Uneb, em Juazeiro-BA.....	199
<b>Figura 2</b> - Representação do irrigâmetro equipado com evaporatório (direita) e pluviômetro (esquerda).....	23

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	15
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	17
3.1 Evapotranspiração de Referência .....	17
3.2 Método do Tanque Classe A .....	19
3.3 Lisímetros .....	20
3.4 Irrigâmetro.....	22
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	24
<b>5 REFERÊNCIAS</b> .....	25

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas são altamente dependentes do tempo e do clima, principalmente a agricultura, pecuária, manejo de recursos hídricos e saúde. A agricultura no Brasil passou por vários ciclos produtivos como das culturas do algodão, da cana-de-açúcar, da seringueira, do cacau, do café, dentre outros, desde quando implantada nos primórdios (BISPO, 2012; SILVA DIAS, 2006). A agricultura dita moderna, de uso intensivo de insumos e de energia basicamente de origem fóssil, praticada nos últimos 50 anos, veio à tona inserida num modelo de produção com altos níveis de desperdício dos recursos naturais (água, solo, biodiversidade, energia), com altíssimos impactos ambientais, embora com grande desempenho de produtividade (MARTINS et al. 2010).

Temperatura, radiação global, umidade relativa do ar, entre outras variáveis climáticas possuem grande influência sobre a produção agrícola, sendo capazes de levar a grandes perdas no processo produtivo (PALMIERI 2009). Para se obter sucesso em qualquer empreendimento agrícola é de suma importância conhecer os elementos climáticos e seus históricos para se desenvolver um bom planejamento (BELTRÃO E OLIVEIRA, 2008). E a partir de dados climáticos é possível realizar, por exemplo, o manejo racional da irrigação, que segundo Oliveira et al. (2015) é fundamental para elevar a produtividade das culturas, baixar os custos de produção e elevar a renda do produtor rural. Através de um manejo adequado da irrigação, pode-se economizar água, energia, aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade do produto (MANIÇOBA, 2020).

O manejo da água de irrigação, por sua vez, tem por objetivo principal manter o solo com a umidade dentro de uma faixa que permita o armazenamento de água nos poros do solo, que seja facilmente absorvida pelo sistema radicular da planta sem risco de limitação à planta, quer por excesso quer por deficiência (COELHO et al., 2012).

Segundo Zonta et al. (2016), irrigações baseadas apenas em observações visuais do solo e da planta podem acarretar redução na produtividade, maior incidência de doenças e menor eficiência no uso de água, energia e nutrientes, devido às plantas não serem submetidas às quantidades necessárias de água para cada uma de seus estádios fenológicos.

Os critérios usados para o manejo da água de irrigação são baseados em uma série de fatores referentes ao estado da água no solo, na planta e na atmosfera para a determinação da Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), desde métodos mais complexos usando equações de energia, necessitando de muitas variáveis climatológicas, a equações mais simples, que necessitam apenas de um elemento meteorológico, como a temperatura média do ar (ARAÚJO et. al., 2012). O conhecimento da evapotranspiração das culturas (ET<sub>c</sub>) é fundamental para que se tenha um manejo de irrigação adequado, principalmente em regiões como o Semiárido nordestino, em que a escassez e a irregularidade nos períodos chuvosos são fatores limitantes da produção agrícola (OLIVEIRA et al. 2010).

Dentro os diversos métodos utilizados para determinação da Evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), existem métodos diretos para determinação e métodos indiretos para a estimativa da evapotranspiração; e cada metodologia apresenta características próprias. O método de determinação direto mais conhecido é a lisimetria. Esse método, muitas vezes requer a utilização de equipamentos sofisticados e caros, o que no geral, inviabiliza sua utilização, sendo assim mais utilizado para fins de pesquisa (BERNARDO, 1996; CAVALCANTE, 2011; CARVALHO e SILVA, 2006).

Embora dispendiosos, de realização demorada e de difícil execução no campo, os métodos diretos (lisimetria) fornecem as melhores estimativas de ET<sub>c</sub>, sendo por isso, utilizado para calibração de métodos teóricos ou empíricos; porém, sua aplicabilidade no dia a dia da irrigação prática é muito limitada. Quanto ao tipo, existem quatro tipos de lisímetros: percolação (drenagem), lençol freático constante, pesagem mecânica e flutuação. Através da lisimetria de pesagem mecânica mede-se a variação do peso de um bloco de solo, de acordo com a entrada e saída de água monitorando a dinâmica da água no solo (CAMPECHE et al., 2011), isso permite realizar leituras em intervalos de tempo reduzido e cálculo simples. A ET<sub>o</sub> neste caso, é o resultado de duas pesagens consecutivas (SANTOS, 2002).

Dentre os métodos indiretos utilizados para estimar a evapotranspiração, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) observou a necessidade de se obter um método padrão que se adaptasse a diferentes localidades e climas e adotou o método Penman-Monteith em seu Irrigation and Drainage Paper No. 56; conhecido como FAO 56 PM (ALLEN et al., 1998), esse método foi derivado da equação original de Penman (1948). Porém, é um método

complexo e requer dados de temperatura do ar, umidade, radiação e velocidade do vento. Assim, o emprego de várias variáveis meteorológicas dificulta seu uso na maioria das propriedades agrícolas, fazendo com que métodos mais simples, que necessitam de uma quantidade menor de variáveis e apresentem boa aplicabilidade quando correlacionadas com os métodos padrões, sejam utilizados (SANTOS, 2020).

O Irrigâmetro, por exemplo, é um aparelho evapo-pluviométrico desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa para ser utilizado no manejo da irrigação, visando otimizar o uso da água na agricultura irrigada, de uso mais simplificado. O equipamento apresenta grande potencial de uso na agricultura irrigada, pois, além de ser um equipamento simples, de fácil manuseio, ele fornece resposta prática às duas perguntas básicas do manejo de irrigação: quando e quanto irrigar (TAGLIAFERRE et al., 2015).

Entretanto, de um modo geral, as equações empíricas, por serem mais práticas e viáveis de serem usadas para fins de manejo da irrigação, são bastantes utilizadas na prática diária do campo agrícola. De acordo com Doorenbos & Pruitt (1997), a  $ET_c$  pode ser calculada a partir da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) em seus diferentes estádios fenológicos. O coeficiente de cultura é determinado empiricamente e varia com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento, com o clima e com as práticas agronômicas adotadas. Para o planejamento racional da irrigação é de fundamental importância o conhecimento da  $ET_c$  e do  $K_c$  durante os estádios de desenvolvimento da cultura (ANDRADE et al., 2013).

## **2 METODOLOGIA**

A pesquisa bibliográfica constitui-se como uma pesquisa desenvolvida com base em material já elaborado, principalmente livros e artigos científicos. Este tipo de pesquisa permite a cobertura de uma ampla gama de fenômenos ao pesquisador, fator importante quando o problema a ser pesquisado requer dados muito dispersos no espaço (Gil, 2002).

Para a presente pesquisa utilizou-se a metodologia de Revisão Bibliográfica Sistemática Qualitativa proposta por Botelho, Cunha e Macedo (2011). Esses autores citam sete passos a serem seguidos na revisão sistemática: Formulação da pergunta; Localização dos estudos; Avaliação crítica dos estudos; Coleta de dados; Análise e apresentação dos dados; Interpretação dos dados e Aprimoramento e atualização da revisão.

### **Localização dos Estudos.**

A seleção dos estudos incluirá apenas periódicos indexados na coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES). Utilizaremos como bases de dados o Scielo (<http://www.scielo.org/>), Scopus (<http://www.scopus.com/>) e Science Direct (<http://www.sciencedirect.com/>), Google scholar (<http://www.google.com/scholar/>). Publicações dos últimos 10 anos nas bases de dados serão consideradas.

### **Avaliação crítica dos estudos**

Para a seleção dos estudos nas bases de dados serão adotados critérios de inclusão e exclusão para delimitar apenas os artigos que investigaram métodos de irrigação com base na evapotranspiração de referência. Como critério de inclusão será analisado inicialmente o título, resumo e palavras chave se são condizentes com o objetivo da pesquisa. Serão analisadas as publicações dos últimos 10 anos. Como critério de exclusão será eliminado aqueles que não abordarem o uso da evapotranspiração no manejo da irrigação descrita no trabalho.

Para cada artigo inicialmente serão avaliados dados estruturais como a presença de resumo, introdução, metodologia, resultados, discussão, conclusão e

referências atualizadas, data e ano de publicação. Na sequência os resultados serão interpretados e fundamentados nos resultados e discussões.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Evapotranspiração de Referência

A evapotranspiração é um dos componentes do ciclo hidrológico oposto à precipitação, e representa a água que retorna para a atmosfera, em forma de vapor, através dos processos de evaporação da água existente no extrato do solo e transpiração de superfícies vegetadas (VAREJÃO-SILVA, 2000; LIMA, 2005; CAMARGO e CAMARGO, 2000; PEREIRA et al., 1997).

Sendo a agricultura irrigada o principal setor usuário dos recursos hídricos, aliado a escassez de água, faz-se necessário conhecer a transferência de vapor de água para atmosfera, ou seja, a evapotranspiração, para que se possa fazer uso racional da água (SOUZA, 2020). Para que não comprometa o desenvolvimento da planta, a água consumida pela evapotranspiração deverá ser reposta sob a forma de precipitação ou irrigação, mantendo no solo a umidade ideal para que as raízes consigam retirar a quantidade de água necessária, sem restrições (POSSE et al., 2008).

Lopes et al. (2004) relatam que, um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento de qualquer espécie é a água, cuja falta caracteriza uma das principais restrições ao crescimento e desenvolvimento das espécies cultivadas. É de suma importância o manejo adequado da irrigação, como forma de elevar a produtividade da cultura, baixar os custos de produção e elevar a renda do produtor rural (OLIVEIRA et al. 2015). E, para o manejo adequado da irrigação, na ausência da medida da ET<sub>c</sub>, é de suma importância o conhecimento da evapotranspiração de referência.

A evapotranspiração de referência pode ser determinada ou estimada por métodos diretos e indiretos. Do primeiro grupo, são exemplos, lisímetros e controle da umidade do solo em campos experimentais, como métodos indiretos, pode-se citar, uso de evaporímetros (tanque Classe A, atmômetro); aplicação de equações (Blaney-Criddle, Penman-Monteith, Hargreaves) e utilização de sensores acoplados de sensoriamento remoto (BERNARDO et al. 2019).

Muniz et al. (2014) descrevem que há vários métodos para a determinação da evapotranspiração, porém a escolha por um método específico depende de uma série

de fatores, tais como: da disponibilidade de dados meteorológicos e da escala de tempo desejada.

O método FAO 56 PM requer medições de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar. Essa demanda de dados é a principal restrição ao seu uso em locais onde os dados climáticos são limitados, principalmente nos países em desenvolvimento, regiões tropicais e áreas de alta altitude (STÖCKLE et al 2004; TRAJKOVIC e KOLAKOVIC 2009; LI et al. 2012; RAHIMIKHOOB et al 2012).

A fórmula de Penman Monteith FAO 56 é dada por (ALLEN et al, 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

em que:

$ET_0$  é a evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

$\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>);

$R_n$  é a radiação líquida na superfície da planta (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$G$  é a densidade de fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$\gamma$  é a constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>);

$T$  é a temperatura média do ar a 2 m de altura (°C);

$u_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>);

$e_s$  é a pressão de saturação de vapor (kpa);

$e_a$  é a pressão atual de vapor (kpa); e

0,408 é o fator de conversão para o termo ( $R_n - G$ ) de MJ m<sup>-2</sup> dia para mm dia<sup>-1</sup>.

Embora seja um método que utiliza de variáveis de difícil obtenção em algumas regiões, a comunidade científica internacional aceitou que a equação de Penman-Monteith é a mais precisa, em função dos bons resultados, quando comparada com outras equações, em várias regiões do mundo. Trabalhos subsequentes demonstraram a superioridade da equação de Penman-Monteith (FAO-56 PM) sobre outros métodos, ao compará-la com medições diretas especialmente para cálculos diários (CHIEW et al., 1995; GARCIA et al., 2004; GAVILÁN et al., 2006; ALLEN et al., 1998).

### 3.2 Método do Tanque Classe A

O tanque classe A (TCA) é um tanque cilíndrico, construído com chapa galvanizada, pintada de prata ou cromada. Possui 1,21 m de diâmetro e 25,4 cm de altura e é instalado sobre um estrado de madeira pintado de branco com 15 cm de altura (Figura 1) (SANTOS, 2002; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).



Fonte: Allan Victor Araújo Pereira (2018)

**Figura 1-** Tanque Classe A instalado no departamento de tecnologias e Ciências Sociais do Campus III Uneb, em Juazeiro-BA.

O método do Tanque Classe A se destaca devido à sua facilidade de operação, custo relativamente baixo e, principalmente, a possibilidade de instalação próximo à cultura a ser irrigada. O tanque possui uma pequena dimensão e está constantemente exposto ao Sol, não existindo elementos capazes de impedir o processo de evaporação. A estimativa de ETo através do método do Tanque Classe A é menos

precisa, por apresentar uma medida superestimada da demanda hídrica da cultura, quando comparada ao método Penman-Monteith que utiliza dados climáticos (PEIXOTO et al., 2010; PRAHARAJ; MOHANTY; SAHOO, 2018; VOLPE e CHURATA-MASCA, 1988).

Na ausência de dados meteorológicos específicos para as redondezas do local do cultivo, a evaporação do tanque Classe A é amplamente utilizada para se estimar a evapotranspiração de referência. Através do coeficiente do tanque ( $K_p$ ), se relaciona a evaporação do tanque com a evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 1998).

A conversão do valor da evaporação, medida no TCA, para  $ETo$  é feita usando um fator de correção, os valores do  $K_p$  são determinados com base em equações empíricas que consideram os valores médios diários de umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento ( $U_2$ ), comprimento da bordadura do tanque (F) e a cobertura do solo, onde o TCA está instalado (DOORENBOS e PRUITT, 1977; MENDONÇA et al., 2006; BRAGA et al., 2008; PEIXOTO et al, 2014).

Cunha et al. (2013) avaliaram dados de  $ETo$  calculados pelo método de tanque Classe A, usando diferentes coeficientes de tanque ( $K_p$ ), em Goiás, e concluíram que, até para uma mesma localidade, a exatidão do  $K_p$  varia em função das condições do tempo, especialmente, das condições do regime pluvial.

### **3.3 Lisímetros**

Segundo Aboukhaled et al. (1982), lisímetros são grandes estruturas enterradas preenchidas com solo localizado no campo, para representar o ambiente local, com superfície vegetada ou em solo nu, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento, ou de uma cobertura vegetal de referência ou, ainda, da evaporação a partir de um solo não vegetado. Podem ser construídos a partir de diversos materiais e tamanhos, preenchidos com um volume de solo, preservando as camadas originais do local; e devem ser instalados nas mesmas condições da cultura em estudo e área em que se deseja medir a evapotranspiração. Podem ser aplicados para medição da evapotranspiração de forma muito precisa se bem instalados e preenchidos corretamente, pois as camadas de solo em seu interior devem se assemelhar ao máximo possível das camadas de solo da área externa (FARIA et al, 2006; MEDEIROS, 2016).

Na determinação direta, os lisímetros ou evapotranspirômetros são considerados um dos métodos mais precisos na determinação da evapotranspiração (ET), por determinar a ET<sub>c</sub> real da cultura no nível de campo. Porém são de difícil construção e operação, restringindo assim a sua utilização às instituições de pesquisas e à mão de obra especializada (CAPORALE, 2017).

Há diferentes tipos de lisímetros, classificados de acordo com a sua forma de operação, para determinar a evapotranspiração real da cultura. Os lisímetros são divididos em duas categorias: os não pesáveis, também chamados de volumétricos, de drenagem ou de compensação e os de pesagem ou gravimétricos (CUNHA e WENDLAND, 2005; PEREIRA et al., 2002).

Os lisímetros de pesagem determinam a evapotranspiração a partir da variação do peso de um bloco de solo, através da pesagem mecânica, eletrônica e hidráulica, constituindo uma medida direta da dinâmica da água num solo cultivado ou nu, com uso bastante difundido atualmente. Muitos autores consideram o lisímetro de pesagem o melhor equipamento disponível para medir com precisão a evapotranspiração de referência e de culturas, como também para calibração de modelos de estimativa dessas variáveis (MACHADO e MATOS 2001; TYAGI et al., 2000); é usado rotineiramente em condições de campo para monitorar o crescimento de culturas e obter o coeficiente de cultura (Poss et al., 2004).

Os lisímetros flutuantes funcionam baseados no Princípio de Arquimedes, em que um tanque flutua dentro de outro preenchido com um líquido específico com densidade conhecida (geralmente H<sub>2</sub>O ou ZnCl<sub>2</sub>), sendo mais aconselhável a utilização de fluidos com maiores densidades, porém, alguns erros são associados a esse tipo de lisímetro devido a temperatura, pois provocam mudanças no peso específico da solução, evaporação e expansão térmica, e aos ventos que podem provocar oscilações, movimentos laterais e até derramamentos. O que acarreta grandes dificuldades operacionais, muitas vezes inviabilizando sua utilização (SILVA, 2000. PEREIRA et al., 1997, ABOUKHALED et al. 1982)

Em síntese, o lisímetro de lençol freático é aquele cujo nível de água é mantido constante, fornecendo dados confiáveis em curtos períodos, adota um sistema automático de alimentação e registro da água repostada de modo a manter o nível do lençol freático constante, sendo a evapotranspiração igual ao volume de água que sai do sistema de alimentação (Assis, 1978).

Os de drenagem funciona adequadamente em períodos longos de observação, geralmente de 7 a 10 dias, a variação de água no solo é contabilizada por amostragem baseia-se no princípio de conservação de massa para a água num volume de solo, o monitoramento da água adicionada a um lisímetro, assim como da quantidade da água drenada, possibilita a estimativa da taxa de evapotranspiração das culturas para determinado intervalo de tempo (ABOUKHALED et al. 1982; Camargo, 1962)

Por último, os lisímetros de pesagem, cuja variação da massa de água em no lisímetro é medida de forma hidráulica ou por sensores de peso conhecidos como células de carga. Desse modo, havendo consumo de água pelas plantas do lisímetro ocorre uma diminuição do peso do volume de controle, a qual é proporcional à evapotranspiração (MACHADO e MATOS, 2001; ALLEN et al. 2011).

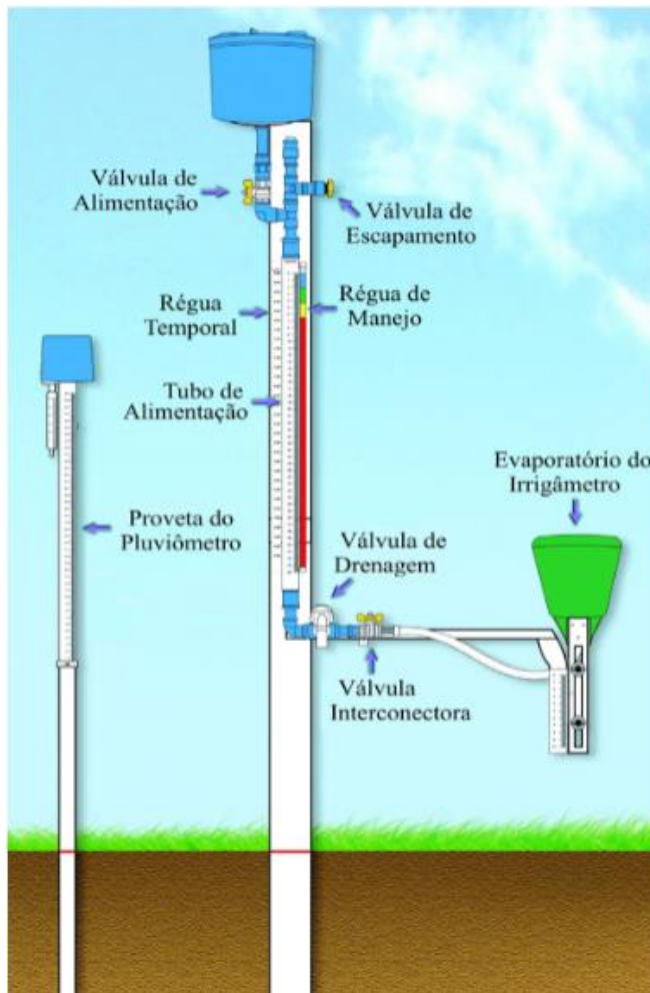
### **3.4 Irrigâmetro**

O Irrigâmetro estima diretamente a evapotranspiração da cultura, por meio da evaporação da água presente no evaporatório do aparelho e indica o valor da lâmina necessária à cultura no tubo de alimentação, o momento de irrigar na régua de manejo – ajustada de acordo com a cultura a ser irrigada e o tipo de solo – e o tempo de irrigação na régua temporal – ajustada para cada sistema de irrigação. A informação relativa ao momento e ao tempo de funcionamento do equipamento de irrigação, ou a sua velocidade de deslocamento, fica prontamente disponível ao irrigante, que não precisa ter conhecimento técnico avançado em irrigação nem efetuar cálculos (OLIVEIRA, TAGLIAFERRE, SEDIYAMA, MATERAM, CECOM, 2008).

O aparelho consiste em um tubo de alimentação onde se dispõe de uma escala graduada, em milímetros, que possibilita obter as leituras da lâmina evapotranspirada. Internamente ao tubo de alimentação, há um tubo de diâmetro menor, denominado tubo de borbulhamento, que mantém o nível da água constante no evaporatório (Figura 1). Na extremidade inferior do tubo de alimentação, há uma válvula de drenagem, usada para retirar a água do interior do tubo de borbulhamento e o excesso no tubo de alimentação, a fim de zerar o aparelho e prepará-lo para as próximas leituras. Na parte superior, estão as válvulas de escapamento de ar, de alimentação e o reservatório de água, usados

no reabastecimento do tubo de alimentação do Irrigâmetro (OLIVEIRA et al. 2011).

O Irrigâmetro é capaz de estimar a evapotranspiração com confiabilidade, sendo este processo dependente das interações dos diversos elementos meteorológicos e suas interrelações associadas ao correto ajuste do aparelho, (Oliveira et al. 2011; Tagliaferre et al. 2012; Tagliaferre et al. 2014).



Fonte: Oliveira e Ramos 2008

**Figura 2** - Representação do irrigômetro equipado com evaporatório (direita) e pluviômetro (esquerda).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao final dessa análise, constata-se que, quando aplicados de forma correta, levando-se em consideração, a adequação do método a região de estudo, métodos mais simples, com menor número de variáveis de entrada podem proporcionar bons resultados, para estimativa da evapotranspiração.

## 5 REFERÊNCIAS

Aboukhaled, A.; Alfaro, A.; Smith, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation And Drainage Paper, 39).

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. **Crop Evapotranspiration-Guidelines For Computing Crop Water Requirements**-Fao Irrigation And Drainage Paper 56. Fao, Rome, V. 300, N. 9, P. 1-297, 1998.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Howell, T. A.; Jensen, M. E. Evapotranspiration Information Reporting: I. Factors Governing Measurement Accuracy. **Agricultural Water Management**. V. 98, P. 899 – 920, 2011.

ANDRADE, A. R. S. de et al. Estimativa da evapotranspiração e dos coeficientes de cultura para diferentes fases de desenvolvimento da melancia. **Rev. Bras. de Geog. Física**, v.6, n.5, p.1417-1429. 2013.

Araújo, W. F.; Conceição, M. A. F.; Venancio, J. B. Evapotranspiração De Referência Diária Em Boa Vista (Rr) Com Base Na Temperatura Do Ar. Botucatu, **Sp. Irriga, Edição Especial**, P. 155 - 169, 2012.

Assis, F. N. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre a evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba: ESALQ/USP, 1978. 73p. **Dissertação** (Mestrado em Agrometeorologia).

Beltrão, N. E. De M. II; Oliveira, M. I. P. De . **Efeitos Do Clima No Metabolismo Vegetal: Mamona**. Embrapa Algodão, Campina Grande, PB. 2008.

Bernardo, S.; Mantovani, E. C.; Silva, D. D.; Soares, A. A. **Manual de Irrigação**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 9 ed., 2019.

Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. **Manual De Irrigação**. 8. Ed. – Viçosa: Ed. Ufv, 2006. 625p.

Bernardo, S.; Sousa, E.F.; Carvalho, J.A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), para as “áreas de baixada e de tabuleiros” da região Norte Fluminense.** Campos dos Goytacazes: UENF, 1996. 14 p. Boletim Técnico

Bispo, N. G.; Uma análise estrutural e regional de culturas agrícolas por mesorregiões do estado da bahia entre 2001 e 2010 com base no modelo shift and share. **Dissertação** (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia da UFBA, 2012.

Botelho, L. L. R.; Cunha, C. C. A.; Macedo, M. O Método Da Revisão Integrativa Nos Estudos Organizacionais. **Gestão E Sociedade.** Belo Horizonte, V.5, N. 11, P. 121-136 · Maio-Ago. 2011.

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**, 16, 49-57, 2008.

Camargo, A. P., Camargo, M. B. P. **Uma Revisão Analítica Da Evapotranspiração Potencial.** *Bragantia*, Campinas, V. 59, N. 2, P. 125-137, 2000.

Campeche, L. F. D. S. et al. Lisímetro De Pesagem De Grande Porte. Parte I: Desenvolvimento E Calibração. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental-Agriambi**, V. 15, N. 5, 2011.

Caporale, A. R. **Desenvolvimento E Avaliação De Uma Ferramenta Para Manejo De Irrigação.**– Guanambi, Ba., 2017.

Carvalho, D. F. de; da Silva, L. D. B.; **EVAPORAÇÃO E TRANSPIRAÇÃO Hidrologia.** CAPÍTULO 6. p 81-94. Agosto 2006.

Cavalcante Junior, E. G.; Oliveira, A. D.; Almeida, B. M. de; Sobrinho, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordestino. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1699-1708, 2011.

Coelho, E. F.; Silva, A. J. P. Da; Marouelli, W. A.; Costa, F. Da S. **Manejo Da Água De Irrigação**. In: Irrigação Da Bananeira. Brasília: Embrapa, 2012. P.191-275.

Cunha A. T.; Wendland E. **Uso De Lisímetro para Avaliação da Infiltração em Zona de Afloramento da Formação Botucatu, na Região de São Carlos-SP**. Águas Subterrâneas, São Paulo-SP, 2005.

Cunha, P. C. R.; Nascimento, J. L.; Silveira, P. M.; Alves Júnior, J. Eficiência De Métodos Para O Cálculo De Coeficientes Do Tanque Classe A Na Estimativa Da Evapotranspiração De Referência. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 43, 114-122, 2013.

Doorenbos, J., Pruitt, W. O. **Crop Water Requirements. Fao Irrigation And Drainage Paper 24**. Land And Water Development Division, Fao, Rome, P. 144, 1977.

Faria, R. T. D.; Campeche, F. D. S. M.; Chibana, E. Y. Construção E Calibração De Lisímetros De Alta Precisão. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, Campina Grande, PB, 2006.

Li F. L.; Zheng, W. Z.; Liu. **Spatiotemporal characteristics of reference evapotranspiration during 1961–2009 and its projected changes during 2011–2099 on the Loess Plateau of China**. Agricultural and Forest Meteorology 154–155:147–155. 2012.

Lopes, A. S.; Pavani, L. C.; Corá, J. E.; Zanini, J. R.; Miranda, H. A. **Manejo da Irrigação (Tensiometria E Balanço Hídrico Climatológico) para a Cultura do Feijoeiro em Sistemas de Cultivo Direto e Convencional**. Engenharia Agrícola, V. 24, P. 89-100, 2004.

Machado, R. E. E.; Mattos, A. Construção E Instalação De Um Lisímetro De Com Sistema De Drenagem. **Revista Brasileira De Agrometeorologia**. Santa Maria, V. 9, N. 1, P. 147-151, 2001.

Maniçoba, R. M. **Manejo Da Irrigação Em Cultivares De Algodoeiro Herbáceo No Semiárido Brasileiro**. 123 F.: Il. 2020.

Martins, S. R.; Schlindwein, S. L.; D’agostini, L. R.; Bonatti, M.; De Vasconcelos, A. C. F.; Fantini, A. C. Mudanças Climáticas E Vulnerabilidade Na Agricultura: Desafios Para Desenvolvimento De Estratégias De Mitigação E Adaptação. **Revista Brasileira De Ciências Ambientais** - N 17. P 17-27, Setembro 2010.

Medeiros, D. A. de; **Medida De Evaporação Por Meio De Turbulência Atmosférica E Da Técnica De Triangulação De Potências**. Dissertação. Mestrado Em Engenharia De Telecomunicações Da Universidade Federal Fluminense. Dezembro, 2016.

Mendonça, J. C.; Sousa, E. F.; Andre, R. G. B.; Bernardo, S. Coeficientes Do Tanque Classe “A” Para A Estimativa Da Evapotranspiração De Referência, Em Campos Dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira De Agrometeorologia** 14, 123-128. 2006.

Muniz, R. A. et al. Balanço De Energia E Evapotranspiração Do Capim Mombaça Sob Sistema De Pastejo Rotacionado. **Rev. Bras. De Meteorologia**, V.29, N.1, 47 - 54, 2014.

Oliveira, E. A. de; **Métodos Para Análise De Concordância: Estudo De Simulação E Aplicação A Dados De Evapotranspiração**. Tese (Doutorado) - Escola Superior De Agricultura "Luiz De Queiroz". Piracicaba, 2016. 177 P.: Il.

Oliveira, E. M. et al; Análise Do Coeficiente E O Desempenho Do Irrigâmetro E A Influência Dos Elementos Do Clima Na Estimativa Da Evapotranspiração. **Engenharia Na Agricultura**, Viçosa - Mg, V.19 N.4, 348-360 P. Julho / Agosto 2011.

Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Alves, R. C.; Lima, L. A.; Santos, S. T.; Régis, L. R. L. Produção De Feijão Caupi Em Função Da Salinidade E Regulador De Crescimento. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, V. 19, N. 11, P. 1049-1056. 2015.

Oliveira, G. M.; Leitão, M. M. V. B. R.; Almeida, A. C. Determinação Da Evapotranspiração E Dos Coeficientes De Cultura Para As Diferentes Fases De Desenvolvimento Do Melão (*Cucumis Melo L.*) Na Região Norte Da Bahia. **Revista Verde**, V.5, P.142–151, 2010.

Oliveira, R. A.; Tagliaferre, C.; Sedyama, G. C.; Materam, F. J. V.; Cecon, P. R. Desempenho Do Irrigâmetro Na Estimativa Da Evapotranspiração De Referência. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, V.12, N.2, P.166-173, 2008.

Oliveira, R. A.; Ramos, M. M. **Manual do Irrigâmetro**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 144p.

Palmieri, A. M.; **Desenvolvimento De Sistemas Automatizado De Baixo Custo Para A Coleta E Armazenamento De Dados Das Variáveis Climáticas: Aplicações No Ambiente Agrícola**. 2009, 101 F. Dissertação De Mestrado, Escola Superior De Agricultura, Universidade De São Paulo, 2009.

Peixoto, T. D. C. et al. **Evapotranspiração De Referência Utilizando Métodos De Tanque Classe A Propostos Pela Fao, Na Região De Mossoró**, Rn. P. 7, 2010.

Peixoto, T. D. C.; Levien, S. L. A.; Bezerra, A. H. F.; Sobrinho, J. E. Avaliação De Diferentes Metodologias De Estimativa Da ET<sub>0</sub> Baseadas No Tanque Classe A, Em Mossoró, RN. **Revista Caatinga** 27, 58-65, 2014.

Pereira, A. R.; Villa Nova, N. A.; Sedyama, G.C. **Evapo(trans)piração**. Piracicaba: FEALQ, 183 p. 1997.

Pereira, A. R.; Santiago, A. S.; Maggioto, S. R.; Folegatti, M. V. Problemas Operacionais Com Lisímetro De Pesagem Durante A Estação Chuvosa E Em Dias Secos Com Rajadas De Vento. **Revista Brasileira De Agrometeorologia**, V.10, P.51-56, 2002.

Poss, J. A.; Russell, W. B.; Shouse, P. J.; Austin, R. S.; Grattan, S. R.; Grieve, C. M.; Lieth, J. H.; Zeng, L. A Volumetric Lysimeter System (VLS): An Alternative To Weighing

Lysimeters For Plant-Water Relations Studies. **Computers And Electronics In Agriculture**, V.43, P.55-68, 2004.

Posse, R.P.; Bernardo, S.; Sousa, E.F. De; Gottardo, R.D. **Evapotranspiração E Coeficiente Da Cultura Do Mamoeiro**. **Engenharia Agrícola**, Vol.28, N.4, P.681-690, 2008.

Praharaj, S.; Mohanty, P.; Sahoo, B. Quantification Of Error In Estimation Of Reference Crop Evapotranspiration By Class A Pan Evaporimeter And Its Correction. In: **Hydrologic Modeling**. [S.L.]: Springer, 2018. P. 85–96.

Rahimikhoob, M. R.; Behbahani J. An evaluation of four reference evapotranspiration models in a subtropical climate. **Water Resources Management**. v.26, Fakheri 2012.

Santos, A. R. D. **Evaporação e Evapotranspiração**. In: Apostila De Climatologia. Apostila De Climatologia, 2002

Santos, A. R. D. Evaporação E Evapotranspiração. In: **Apostila De Climatologia**. Apostila De Climatologia, 2002.

Santos, M. A. C. M. Dos; Comportamento De Equações De Evapotranspiração De Referência Para O Município De Rio Verde – Go, **Brasil Brazilian Journal Of Animal And Environmental Reseach**. V. 3, N. 3, P. 2647-2657, Jul./Set. 2020.

Silva Dias, M. A. F. **Meteorologia E Sociedade**. Boletim Da Sociedade Brasileira De Meteorologia, São José Dos Campos, V.30, N. 2-3, P. 9-13, 2006.

Silva, T. J. A. (2000). Aplicação de evapotranspirômetro de pesagem no estudo de relações entre a evapotranspiração de referência medida e estimada no semi-árido Nordeste. **Dissertação** (Mestrado) em Agronomia – Ciência do Solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife – Pernambuco, 97 p.

Souza, Marcello Henryque Costa De. **Estratégias De Alocação De Água Para Irrigação No Perímetro Irrigado Pontal Sul**. Botucatu, 2020. 80 P.:

Stöckle, J.; Kjelgaard, G.. Evaluation of estimated weather data for calculating Penman-Monteith reference crop evapotranspiration. **Irrigation Science**, v.23. Bellocchi 2004.

Tagliaferre, C.; et al. Ajuste E Aplicação Do Irrigâmetro No Manejo Da Água De Irrigação. **Irriga**, Botucatu, V. 19, N. 1, P. 61-72, Janeiro-Março, 2014.

Tagliaferre, C.; Paula, A. De; Rocha, F. A.; Campos, W. V.; Guimarães, D. U. **Influência Dos Elementos Meteorológicos Na Evapotranspiração De Referência Estimada Utilizando-Se O Irrigâmetro No Município De Guanambi-Ba**. Engenharia Na Agricultura, V.23, P.251-260, 2015.

Tagliaferre, C.; Santos, L. Da C.; Dos Santos Neto, I. J.; Santos, T. J. Dos; Rocha, F. A.; Guimarães, D. U. Estimativa Da Evapotranspiração De Referência Com Uso Do Irrigâmetro Em Vitória Da Conquista/Ba. **Irriga**, [S. L.], V. 17, N. 1, P. 28–38, 2012.

Trajkovic, S.; Kolakovic, S. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. **Water Resources Management**. v.23. 2009.

Tyagi, N. K.; Sharma, D. K.; Luthra, S. K. Determination Of Evapotranspiration And Crop Coefficients Of Rice And Sunflower W Lysimeter. **Agricultural Water Management**, V.145, P.41-54, 2000.

Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C.; Pereira, J. R.; Sofiatti, V. **Manejo De Irrigação Do Algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 8p. (Circular Técnica, 139).