

## Manejo da irrigação em cacauzeiros na região sul da Bahia

### Irrigation management on cocoa trees in the south of Bahia

DOI:10.34117/bjdv8n4-007

Recebimento dos originais: 21/02/2022

Aceitação para publicação: 31/03/2022

#### **Christian Pascal Silva Bouix**

Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas

Instituição: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ/USP

Endereço: Avenida Proclamação, 362, Jardim Savóia, Ilhéus-BA

E-mail: christianbouix18@gmail.com

#### **Luan Galdêncio da Silva Braga**

Bacharel em Engenharia Agrônômica/UESC

Instituição: Pós-Graduando em Microbiologia Agrícola/Unyleya

Endereço: Avenida Gonçalves Ledo, 1025, Teixeira de Freitas-BA

E-mail: luangsbraga@gmail.com

#### **Adriana Ramos**

Doutora em Irrigação e Drenagem

Instituição: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ/USP

Endereço: Rod. Jorge Amado, km 16. CEP: 45.662-000. Ilhéus, Bahia

E-mail: aramosmendes@gmail.com

### **RESUMO**

O cultivo do cacauzeiro é uma das principais atividades econômicas do setor agrícola na região Sul da Bahia. O cacauzeiro é uma planta sensível ao déficit hídrico e a chuva é um dos fatores que favorecem o incremento de produtividade. Entretanto, períodos de instabilidade no regime de chuvas da região e a incidência de veranicos têm contribuído negativamente para a sanidade das áreas de cacauzeiro baianas. Por esse motivo, a irrigação em cacauzeiros é uma área que vem ganhando destaque nos últimos anos. O objetivo deste trabalho é orientar os produtores rurais sobre as formas de manejo da irrigação e como utilizá-las na prática através de cálculos, bem como apresentar características do sistema solo/planta/atmosfera, visando o uso racional de água para sustentabilidade agrícola no cultivo de cacauzeiros.

**Palavras-chave:** *Theobroma cacao* L, manejo da irrigação, guia-prático.

### **ABSTRACT**

Cocoa cultivation is one of the main economic activities of the agricultural sector in the southern region of Bahia. The cacao plant is sensitive to water deficit and rainfall is one of the factors that favor the increase of productivity. However, periods of instability in the rainfall regime of the region and the incidence of veranicos have contributed negatively to the health of cocoa areas in Bahia. For this reason, irrigation is an area that has been gaining prominence in recent years. The objective of this work is to orient rural producers about the forms of irrigation management and how to use them in practice

through calculations, as well as to present characteristics of the soil/plant/atmosphere system, aiming at the rational use of water for agricultural sustainability in cocoa farming.

**Keywords:** *Theobroma cacao* L, irrigation management, practical-guide.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CULTURA

O cacau é uma planta originada na região da Bacia Amazônica. Pertence à família Malvaceae e possui nome científico de *Theobroma cacao* L. Os frutos do cacau apresentam importância mundial pois são a principal matéria-prima para a fabricação de chocolate. Trazido para a região Sul da Bahia durante o século XVIII (SENAR, 2018), é uma das culturas agrícolas regionais de grande marco econômico, político e social, sobretudo no período histórico do coronelismo.

É uma planta perene de porte arbóreo, podendo atingir alturas de 5 a 15 metros, dependendo da forma do seu cultivo (ARAÚJO et al 2016). Atualmente, com os diversos materiais genéticos existentes, é possível programar um cronograma de cultivo de forma a obter frutos durante todo o ano. Os principais períodos de colheita são divididos em dois: safra principal e safra temporã.

Além da produção de chocolate, os frutos do cacau possibilitam a extração de subprodutos como manteiga, nibs, líquido e pó (Efraim et al., 2010) e seu próprio consumo *in natura*.

O cacau é um fruto que apresenta grande versatilidade no beneficiamento e conseqüentemente, diversas possibilidades para comercialização dos seus produtos, garantindo retorno econômico aos produtores rurais.

### 1.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL

#### 1.2.1 À nível mundial

O cacau está presente em todo o mundo. De acordo com dados do The International Cocoa Organization (ICCO, 2020), para a safra 2019/20, foram produzidas no mundo 4,7 milhões de toneladas de cacau. Esse valor é a soma da produção dos principais países produtores de cacau, sendo eles: Costa do Marfim, Gana, Nigéria, Indonésia e Brasil.

O cultivo, de acordo com Ramos et al (2015 apud Somarriba, 2006), apresenta importante papel em mais de 5 milhões de lares, influenciando a vida de 25 milhões de

peessoas ao redor do mundo. Entretanto, por ser uma commodity, sofre com as instabilidades de preços do mercado internacional. Devido às oscilações constantes de preços nos mercados internacionais, o cacau vem sendo considerado uma das commodities mais voláteis negociadas em bolsa de valores (ZUGAIB, A. C. C; BARRETO, R. C. S, 2015). Por consequência, as variações nos preços acarretam, algumas vezes, em prejuízos aos cacauicultores.

Evidentemente, os preços praticados no mercado internacional se relacionam com os indicadores econômicos, leis de oferta e demanda, estoques internacionais e a renda média mundial. Outro fator forte que acarreta no preço do cacau são as cotações do dólar. Visto que a comercialização de cacau feita por empresas multinacionais é baseada na variação cambial do dólar, quanto maior a cotação da moeda americana, o preço pago ao produtor será maior. O mesmo acontece para outras commodities como milho, soja, algodão, etc. De forma similar, o preço do cacau no mercado internacional é praticado em dólares/tonelada. Portanto, fica clara a influência dessa moeda na cacauicultura.

### **1.2.2 À nível nacional**

De acordo com dados da FAOSTAT (2021), no Brasil, no ano de 2019, foi colhida uma área de 581 mil ha, com produção de 259 mil toneladas, obtendo-se uma produtividade calculada de 0,44 t/ha. Esses são valores de produtividade bastante inferior a outras culturas agrícolas. Um dos fatores que ocasionam esse baixo número está relacionado com a desuniformidade de plantio nos Estados produtores, de uma forma geral. Dentro desse tópico pode-se incluir: baixo número de plantas por hectare, problemas como falta de correção e adubação do solo, falta de controle de praga e doenças, plantios muito antigos, entre outros.

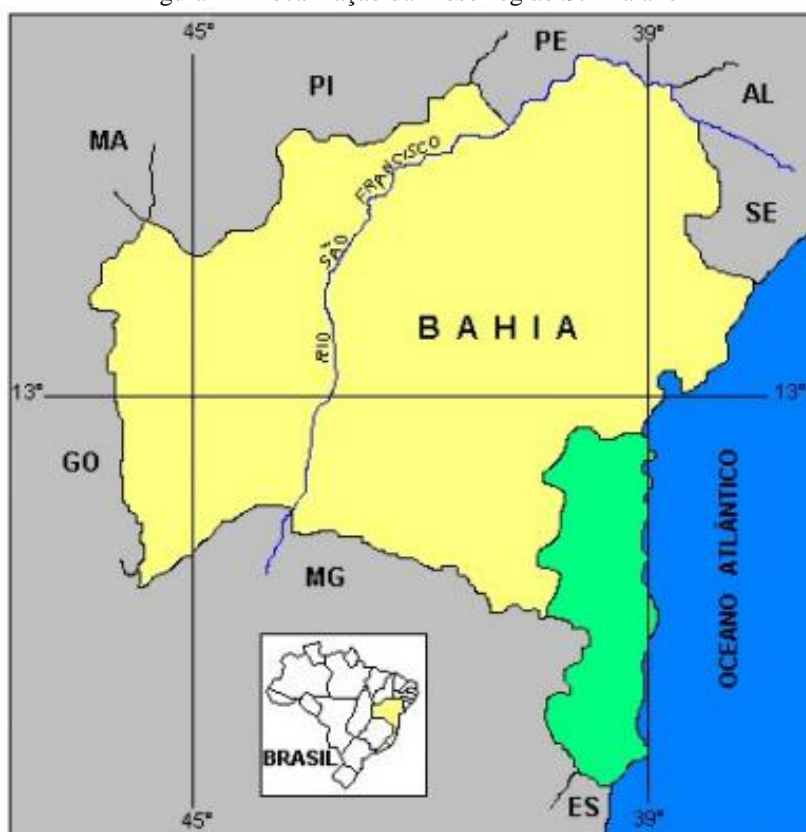
A Bahia é um dos maiores estados produtores de cacau do Brasil, concorrendo diretamente com o Pará, atual líder da produção nacional. De acordo com Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR, 2020), em 2019, a área cultivada do Pará foi de 146.918 hectares, atingindo produção de 133.489 mil toneladas, equivalendo a 52% da produção nacional. Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2019), a Bahia conseguiu produzir 122,568 toneladas de cacau dentro de uma área colhida de 480,045 ha. Os Estados da Amazônia, Rondônia, Mato Grosso, Espírito Santo também apresentam produção de cacau, entretanto, em menor escala.

## 2 MESORREGIÃO SUL BAIANO E REGIÃO IMEDIATA ILHÉUS-ITABUNA

A Mesorregião Geográfica Sul Baiano (Figura 1) está localizada em uma região tropical do Nordeste brasileiro, sendo composta por 70 municípios, apresentando aproximadamente 54.642 km<sup>2</sup> de extensão territorial (SOUZA, E. A. T. et al, 2012). O clima predominante nessa Mesorregião é do tipo Af - Clima tropical úmido ou superúmido e Am - Clima tropical úmido ou subúmido, de acordo com a classificação de Köppen. O regime pluviométrico, de acordo com essa classificação, apresenta chuvas de no mínimo 60 mm durante o mês mais seco, com precipitações concentradas de março a agosto, chegando a ultrapassar 1500 mm anuais.

Dentro do Sul Baiano, está presente a Região Imediata Ilhéus-Itabuna. Apresentando a mesma classificação climática da Mesorregião Sul Baiano, o desenvolvimento deste trabalho será direcionado ao município de Ilhéus para servir como exemplo aos demais municípios do Sul Baiano.

Figura 1 – Localização da Mesorregião Sul Baiano



Fonte: Souza et al., (2012).

### 3 SISTEMAS DE CULTIVO

#### 3.1 CACAU CABRUCO

Uma das formas de cultivo do cacau é em sistema cabruca, onde as plantas se desenvolvem à sombra da mata nativa. Caracterizando um sistema agroflorestal, a origem do termo “cabruca” é proveniente de “cabrocar”, ou seja, brocar a mata (ZUGAIB, et al, 2017).

Antigamente, na formação de plantios de cacau, era feita a abertura de áreas dentro da mata nativa com o objetivo da implantação de cacauzeiros. Esse sistema promove benefícios ambientais por preservar parte da mata nativa, diferente de métodos onde ocorre derruba total para implantação da cultura. Além disso, não há uso intensivo dos recursos naturais, promove uma ciclagem de nutrientes e sombreamento, que são aspectos positivos para o cultivo.

De acordo com Zugaib et al. (2017), o sistema cabruca na Bahia permitiu a conservação de remanescentes florestais e sobrevivência de indivíduos da mata primária, além de não modificar de forma intensa a paisagem natural.

#### 3.2 CACAU CONSORCIADO

O cultivo do cacauzeiro pode ser realizado de forma consorciada com outras culturas agrícolas. O consórcio entre cacau e seringueira é famoso pela sua viabilidade e é o mais encontrado na região Sul da Bahia. Segundo Piasentin e Saito (2014), a introdução desse consórcio iniciou-se a partir da década de 1980, onde a seringueira funciona como sombreamento para o cacauzeiro, diminui a incidência de plantas daninhas existentes nos seringais, além de aumentar a diversificação da produção e renda da extração do látex para produção de borracha.

Além dos benefícios econômicos dessa prática, também devem ser citados os aspectos ambientais positivos. Em estudo feito por Cotta et al (2008), os autores verificaram que o consórcio seringueira-cacau consegue retirar CO<sup>2</sup> da atmosfera, contribuindo para a mitigação do efeito estufa. De acordo com esses autores, visto que o sequestro de carbono é mais eficiente em culturas de ciclo longo, e que a exploração econômica do consórcio seringueira-cacau é não madeireira, o carbono fica mais tempo estocado na vegetação. Isso torna um consórcio em potencial para a geração de Certificados de Emissões Reduzidas.

Em relação aos benefícios sociais apresentados, Santana et al. (2020), em estudo sobre a competitividade do consórcio cacauzeiro-seringueira afirmam que a atividade da

produção de amêndoas de cacau e borracha natural apresenta intensiva mão de obra. De forma semelhante, Cotta et al (2008) fazem referência à mão de obra intensa utilizada nesta atividade, promovendo a geração de emprego, renda e desenvolvimento social.

### 3.3 CACAU A PLENO SOL

Diferente dos sistemas cabruca e consorciado, o cacau a pleno sol não conta com sombreamento. Para o estabelecimento e desenvolvimento das mudas no campo, é utilizado um sombreamento provisório (SENAR, 2018).

De acordo com Leite et al. (2012), o conceito de que as plantas de cacau precisam estar essencialmente em áreas de alta temperatura e umidade está mudando. De acordo com Zanetti (2017), o cultivo a pleno sol vem crescendo devido ao ganho de produtividade de genótipos de cacau mais adaptados às condições de luz inerentes a esse sistema.

O estabelecimento de plantio de cacau em áreas a pleno sol é possível desde que seja feito o uso da irrigação ou que as condições pluviométricas da região permitam o desenvolvimento adequado das plantas.

## 4 CARACTERÍSTICAS E NECESSIDADES DO CACAUEIRO

### 4.1 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO CACAUEIRO

O cacau é uma planta de porte arbóreo. Quando desenvolvidas por via seminal, as plantas podem chegar de 5 a 8 metros de altura e de 4 a 6 metros de diâmetro de copa (SENAR, 2018). De acordo com Araújo et al (2016), plantas de cacau podem variar de 5 a 15 metros de altura quando provenientes de sementes. Plantas desse porte são mais comumente encontradas em sistemas extrativistas e em algumas áreas de cabruca.

Em sistemas de produção intensivos ou a pleno sol, a altura das plantas é mantida de forma a facilitar a realização dos tratos culturais. A altura das plantas deve estar limitada a 2,5 a 3,0 metros a partir do solo (MARQUES e MONTEIRO, 2016). De forma similar, para plantas desenvolvidas por métodos vegetativos, também se adequa a altura para a possibilidade das práticas culturais.

Plantas provenientes de sementes normalmente apresentam crescimento ortotrópico, no qual ocorre a formação do primeiro “jorquete” na altura de 1 a 2 metros (VAN VLIET e GILLER 2017). O crescimento inicial se dá de forma vertical, e a partir daí, são formados os ramos laterais, caracterizando a arquitetura da planta. Sodré e Marrocos (2009) ressaltam a dificuldade do uso de ramos ortotrópicos para a propagação

vegetativa devido à dificuldade de obtenção desses ramos, visto que as matrizes, em condições de campo, produzem muito mais ramos plagiotrópicos. Os autores ainda abordam que em condições de estresse hídrico ou solos rasos, o cacaueteiro deixa de emitir ramos ortotrópicos.

A propagação do cacaueteiro também pode ser realizada pelos ramos plagiotrópicos, chamados de ramos produtivos. Embora assim denominados, Sodré e Marrocos (2009 apud Dodds e Cope, 1951) citam que pesquisas de campo mostraram que geralmente não há diferenças no potencial produtivo dos materiais vegetativos plagiotrópicos e ortotrópicos.

O sistema radicular do cacaueteiro apresenta raiz pivotante, cujo desenvolvimento varia com o tipo de solo (SENAR, 2018). Segundo Van Vliet e Giller (2017), o sistema radicular varia de 0,8 a 1,5 m de profundidade e também consta com raízes laterais. De acordo com Senar (2018), as raízes laterais são responsáveis pela nutrição da planta e concentram-se na parte superior da pivotante, nos primeiros 30 cm, diminuindo sua densidade à medida que aumenta a profundidade. As raízes de material ortotrópico e plagiotrópico são semelhantes em seu desenvolvimento, no qual 2 a 5 raízes ganham espessura e crescem em profundidade, caracterizando raiz pivotante (SODRÉ, G. A; MARROCOS, P. C. L, 2009).

Para a implantação da cultura, o espaçamento mais comumente encontrado para o cacaueteiro é de 3 x 3 m, obtendo-se o “stand” original de 1.111 plantas/ha (SODRE, 2017). Existem estudos, como o feito por Müller e Gama-Rodrigues (2007) apresentando outros espaçamentos de cacaueteiro (2,5 x 3,0 m, 3,0 x 3,5 m), quando em sistemas agroflorestais com outras culturas. De Paula Júnior e Venzon (2007) abordam que o porte reduzido e a manutenção das copas dos clones de cacaueteiro podem permitir um espaçamento mais adequado como 3,0 x 2,0 m, obtendo a densidade de 1.667 plantas/ha. Esses autores afirmam que na utilização desse espaçamento perde-se na produção por planta, mas essa perda é compensada no ganho por área.

#### 4.2 NECESSIDADES CLIMÁTICAS

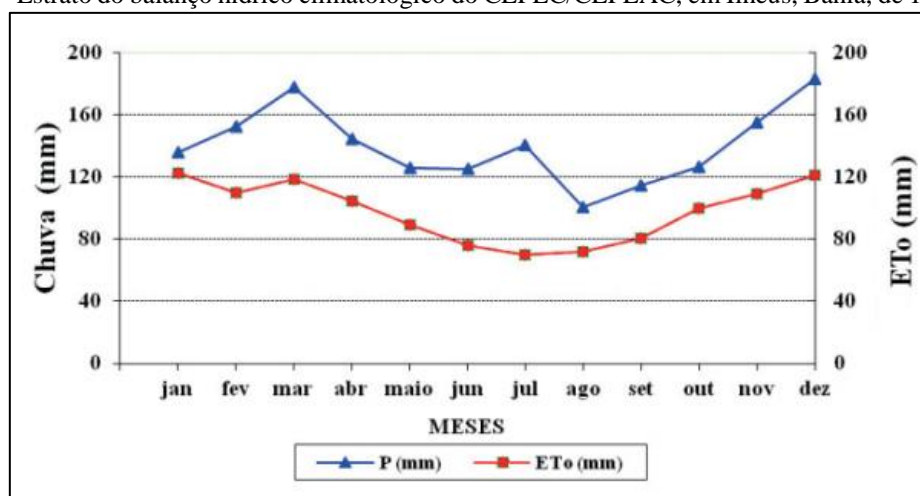
O cacaueteiro é uma planta de origem tropical, portanto desenvolve-se bem em condições de alta temperatura e umidade, contanto que não haja variações climáticas pronunciadas durante o ano. De acordo com Despotin (2018 apud SOUZA et al., 2009), os fatores mais importantes para o desenvolvimento do cacaueteiro são a temperatura do ar e a precipitação pluviométrica. Ramos et al. (2015 apud Silva Neto, 2001), citam os

fatores que mais influenciam no bom desenvolvimento da cultura: temperaturas médias superiores a 23°C, precipitação de 1250 mm anuais bem distribuídos durante o ano, luminosidade entre 1500 a 2300 horas de luz por ano.

De acordo com De Paula Júnior e Venzon (2007), o cacaeiro requer temperatura média superior a 23°C para assegurar floração abundante e boa frutificação e temperatura máxima inferior a 28°C. Além disso, precisa de uma amplitude térmica mínima de 9°C para assegurar abertura de gemas e formação de novos frutos.

Dados sobre a disponibilidade hídrica da região Sul da Bahia foram apresentados por D'Angiollela, Vasconcellos e Rosa (2005), mostrando que a região apresenta um saldo positivo de precipitação anual, fato que contribui, entre outros motivos, a baixa adoção de sistema irrigados para a cultura do cacaeiro regional. Entretanto, períodos atípicos de veranico podem ocorrer. Ramos, Sodré e Bessa Leite (2018), ao citarem Santana et al. (2016), demonstraram o estrato do balanço hídrico climatológico do CEPEC/CEPLAC, em Ilhéus – BA (Figura 2).

Figura 2 – Estrato do balanço hídrico climatológico do CEPEC/CEPLAC, em Ilhéus, Bahia, de 1995 a 2014



Fonte: Santana et al., (2016).

A Figura 2 identifica os valores médios de uma série histórica (1995 a 2014) da Evapotranspiração de referência (ETo) e da Precipitação (P) de acordo com os meses do ano. É possível observar que em meses como janeiro e dos meses de agosto a outubro, o saldo de precipitação é menor, comparado aos outros meses do ano. Em meses com essas características é possível a ocorrência de veranicos, mesmo que de forma localizada. A adoção de sistemas de irrigação é uma possibilidade para evitar estresses hídricos em casos como este.



Áreas com ventos intensos devem ser evitados, sobretudo em cultivos jovens, para que não ocorra desidratação excessiva, quebra de folhas e disseminação de doenças. O cacaueteiro é extremamente sensível a ventos fortes, portanto, o plantio de quebra-ventos é recomendado.

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE HÍDRICA DO CACAUEIRO

Existem diversos coeficientes ou variáveis que quantificam as necessidades hídricas das culturas agrícolas. De forma que a demanda por produção de alimentos cresce gradativamente, as atividades irrigadas consomem cada vez maiores quantidades de água. Nesse sentido, saber os valores de demanda hídrica necessários à cada cultura é essencial para evitar o desperdício de água e obter produções otimizadas. De forma geral, utilizam-se os valores de evapotranspiração das culturas (ETC).

A ETC quantifica as perdas de água pela transpiração das plantas e pela evaporação de água do solo. Portanto, essa representa a necessidade hídrica de uma planta em determinado estágio do seu desenvolvimento.

Para se calcular evapotranspiração de uma cultura (ETC), usa-se a seguinte equação:

$$ETC = ETo Kc \quad (1)$$

Onde:

ETC: Evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>)

ETo: Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

Kc: Coeficiente da cultura (adimensional)

Os valores do coeficiente da cultura (Kc) variam de acordo com o cultivo estudado e seu estado de desenvolvimento. Esses coeficientes são fixos e podem ser encontrados na literatura. De acordo com dados do boletim da FAO-56 (1998), os valores de Kc para a cultura do cacaueteiro são divididos em três, conforme a tabela abaixo:

Tabela 1 – Valores de Kc para a cultura do cacaueteiro considerando porte máximo de 3 metros da planta.

<b>Kc inicial</b>	<b>Kc médio</b>	<b>Kc final</b>
1,00	1,05	1,05

Fonte: Adaptado de FAO Irrigation and Drainage, n° 56 (1998).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), originalmente denominada de Evapotranspiração potencial (ETP) é um dos importantes parâmetros agrometeorológicos usados no manejo de irrigação (CARVALHO et al., 2011). Para a estimativa da ET<sub>o</sub>, de acordo com Santos et al. (2004), estão incorporados a maioria dos efeitos ambientais, portanto, ela representa os índices de demanda hídrica. Atualmente, o método padrão aceito internacionalmente para o cálculo da ET<sub>o</sub> é chamado de Penman-Monteith (FAO-56), definido pela equação:

$$ET_o = \frac{0,408(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34\mu_2)} \quad (2)$$

Onde:

ET<sub>o</sub>: evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);

R<sub>n</sub>: saldo de radiação à superfície (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

G: fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

γ: constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>);

T: temperatura média diária (°C);

μ<sub>2</sub>: velocidade do vento 2 m acima da superfície do solo (m s<sup>-1</sup>);

e<sub>s</sub>: pressão de saturação de vapor (KPa);

e<sub>a</sub>: pressão real de vapor (KPa);

Δ: inclinação da curva de vapor de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>).

Embora existam outros métodos para estimativa da ETP, esse é um dos métodos mais completos, devido a quantidade de variáveis agrometeorológicas que considera.

Outro método muito utilizado para manejo da irrigação é o método do Tanque Classe A (TCA). O cálculo da Evapotranspiração é feito a partir da evapotranspiração observada no tanque (ECA) e seu coeficiente (K<sub>p</sub>), de acordo com a equação:

$$ET_o = EV K_p \quad (3)$$

Onde:

EV: evaporação do tanque (mm.dia<sup>-1</sup>)

K<sub>p</sub>: coeficiente do tanque (adimensional)

Esse método é comumente utilizado por apresentar baixo custo e ter seu cálculo simplificado para estimativa da evapotranspiração. O tanque classe A é frequentemente utilizado na região nordeste para diversas culturas, e são encontrados principalmente nas estações meteorológicas (SANTOS et al., 2004). Uma abordagem mais detalhada sobre o Tanque Classe A será feita no tópico 7.4.2.

Outro método para determinar o tempo de aplicação das lâminas de água é através dos sistemas de manejo com base na porcentagem da área molhada (P) e no coeficiente de localização (Kl), como feito por Oliveira et al. (2007) para a cultura do cafeeiro. A porcentagem de área molhada leva em consideração o raio do bulbo de umedecimento em culturas onde adota-se a irrigação localizada, assim como a eficiência inerente do sistema. Esse cálculo pode ser obtido por:

$$P = 100 \frac{r}{Ef} \quad (4)$$

Onde:

P: porcentagem da área molhada;

R: raio do bulbo de umedecimento;

Ef: eficiência do sistema de irrigação.

De acordo com Mudrik et al. (2005), alguns pesquisadores desenvolveram coeficientes de localização (Kl) para ajustar os valores de evapotranspiração gerados a partir da irrigação total em valores promovidos a partir da irrigação pontual, em métodos de irrigação localizados. Existem trabalhos realizados comparando metodologias de obtenção de valores de Kl para a cultura do cafeeiro. Algumas metodologias para cálculos de Kl consideram a porcentagem de área molhada pelo sistema de irrigação (Eq. 4) e as áreas sombreadas pelas culturas (MUDRIK et al., 2005). Oliveira et al. (2007) apresentam a fórmula de Kl calculada para o cafeeiro:

$$Kl = [Ac + 0,15(1 - Ac)] \quad (5)$$

Onde:

Kl: coeficiente de localização

Ac: área média de projeção da copa

Os valores da necessidade hídrica do cacaueteiro encontrados na literatura são bastante variados. Müller e Valle (2007) estimam que um cacaueteiro adulto estabelecido na região cacaueteira da Bahia pode consumir de 30 a 50 L de água por dia. De acordo com SENAR (2018), uma planta de cacaueteiro consome diariamente 31,5 L de água por dia. Esse valor foi apresentado anteriormente por Bessa Leite (2013), que calculou a Evapotranspiração da cultura (ETC) igual a  $3,5 \text{ mm.dia}^{-1}$  para cacaueteiros de 6 anos de idade, ocupando uma área de  $9 \text{ m}^2$ , no município de Ilhéus – BA.

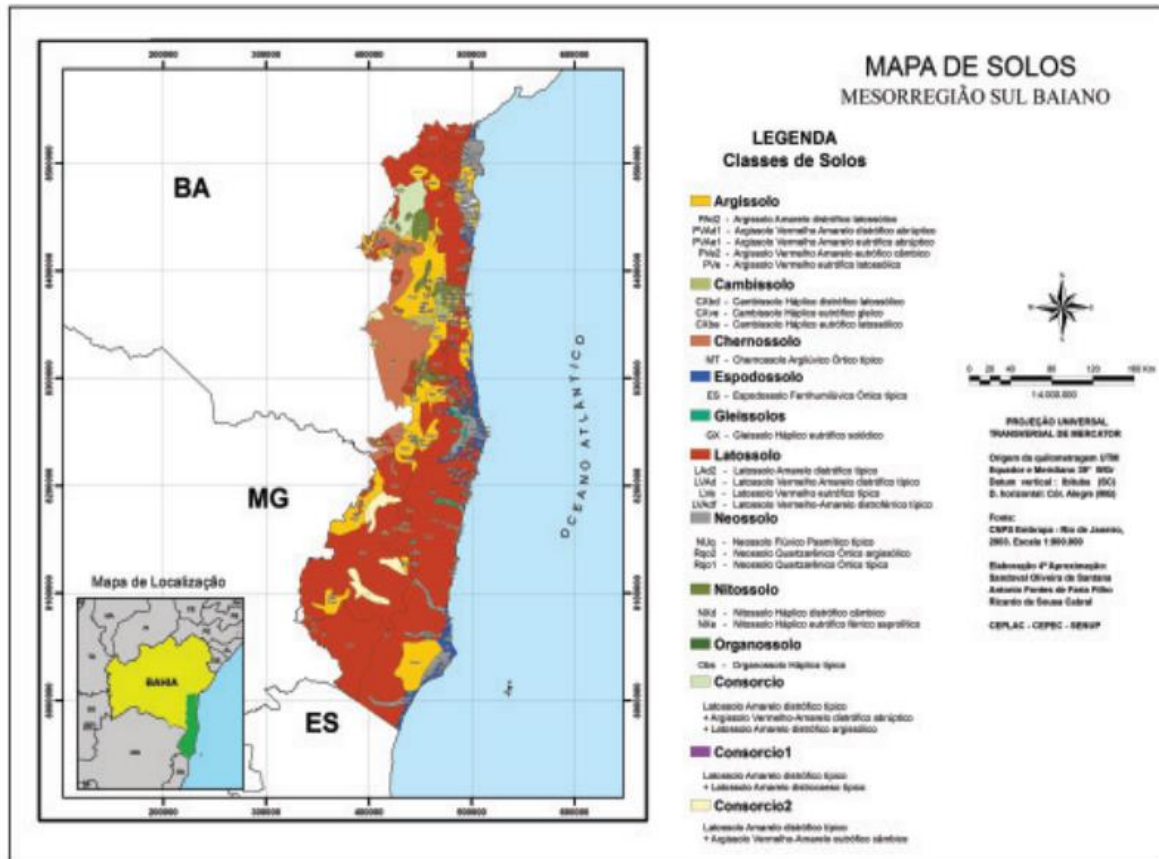
Bessa Leite (2013) ao citar Almeida, Villa Nova e Klar, (2000) informa que esses autores encontraram a média diária da demanda hídrica de um cacaueteiro para o município de Ilhéus de 20,2 L, ou uma lâmina de Evapotranspiração da cultura de 2,2 mm. Em períodos de veranico ou secas, essa necessidade pode não ser suprida, justificando o uso de irrigação para a cultura e o conhecimento dos coeficientes e métodos para estimar a necessidade hídrica do cacaueteiro.

## 5 SOLOS

Um fator de importância que interfere diretamente na produtividade do cacaueteiro é o solo sobre o qual a cultura é plantada. De acordo com Sodré (2017), os ambientes com aptidão plena para o cultivo do cacaueteiro são aqueles cujo clima não apresente veranicos frequentes, e cujos solos sejam bem drenados, de textura média argilosa, com profundidade efetiva acima de 1,5 m e fertilidade de m dia a alta.

Souza et al. (2012), em trabalho sobre quantifica o do estoque de carbono dos principais solos da região Sul baiano apresentam dados sobre as principais classes de solo encontradas nessa região (Figuras 2 e 3).

Figura 3 – Mapa de classificação de solos da Mesorregião Sul baiano



Fonte: Souza et al. (2012).

Figura 4 – Área total por classificação de solo na Mesorregião Sul baiano

Solo	Área (ha)	% da Região
Argissolo - PAd2	3,3 X 10 <sup>4</sup>	0,61
Argissolo - PVAd1	7 X 10 <sup>5</sup>	12,11
Argissolo - PVAe1	1,5 X 10 <sup>5</sup>	2,69
Argissolo - PVe2	3,1 X 10 <sup>3</sup>	0,06
Argissolo - PVe	1,7 X 10 <sup>4</sup>	0,32
Cambissolo - CXbd	5,7 X 10 <sup>3</sup>	0,11
Cambissolo - CXbe	4,8 X 10 <sup>4</sup>	0,88
Chernossolo - MT	4,9 X 10 <sup>5</sup>	8,97
Associação 1 – Ass1	1,1 X 10 <sup>5</sup>	2,10
Associação 2 – Ass2	1,2 X 10 <sup>5</sup>	2,25
Espodossolo - ES	1,7 X 10 <sup>5</sup>	3,23
Gleissolos - GX	3,1 X 10 <sup>4</sup>	0,58
Latossolo - LAd2	2,7 X 10 <sup>4</sup>	0,50
Latossolo - LVAd	1,6 X 10 <sup>6</sup>	30,07
Latossolo - LVe	1,5 X 10 <sup>6</sup>	28,23
Latossolo - LVAdf	7 X 10 <sup>2</sup>	0,01
Neossolo - NUq	1,8 X 10 <sup>5</sup>	3,23
Neossolo - Rqo2	1,4 X 10 <sup>4</sup>	0,27
Neossolo - Rqo1	4,4 X 10 <sup>4</sup>	0,81
Nitossolo - NXd	6,3 X 10 <sup>4</sup>	1,16
Nitossolo - NXe	8, 8 X 10 <sup>4</sup>	1,64
Organossolo - OX	9,4 X 10 <sup>3</sup>	0,17
<b>Total</b>	<b>5,4 X 10<sup>6</sup></b>	<b>100</b>

Fonte: Souza et al. (2012).

De acordo com os dados da Figura 3, em 58,81% da Mesorregião Sul baiano encontram-se Latossolos. Essa classe de solo é típica de ambientes tropicais e subtropicais. O sistema brasileiro de Classificação de solos (SiBCS, 2018) caracteriza os latossolos como solos que apresentam horizonte diagnóstico B Latossólico, cuja constituição apresenta níveis consideráveis de óxidos de ferro e alumínio; em avançado estágio de intemperização; variando de fortemente a bem drenados; normalmente muito profundos; com a espessura de *solum* (Horizonte A + B) dificilmente inferior a 1 m e em

geral; fortemente ácidos com baixa saturação por bases; distróficos ou alumínicos. Podem ser encontrados em amplas e antigas zonas de erosão, em relevo plano, suave ondulado e também em áreas de relevo acidentado e montanhoso (SiBCS, 2018).

Independentemente do tipo de solo disponível, é necessário realizar-se uma análise química para saber qual o seu nível de fertilidade, e junto com a produtividade esperada, formular uma recomendação de adubação para o cacaueteiro.

## 6 MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

São vários os sistemas e métodos de irrigação disponíveis, com diferentes vantagens, desvantagens e eficiências. A escolha do método varia de acordo com fatores ambientais e econômicos como: tipo de solo, topografia, clima, disponibilidade hídrica, custo de implantação e facilidade de operação.

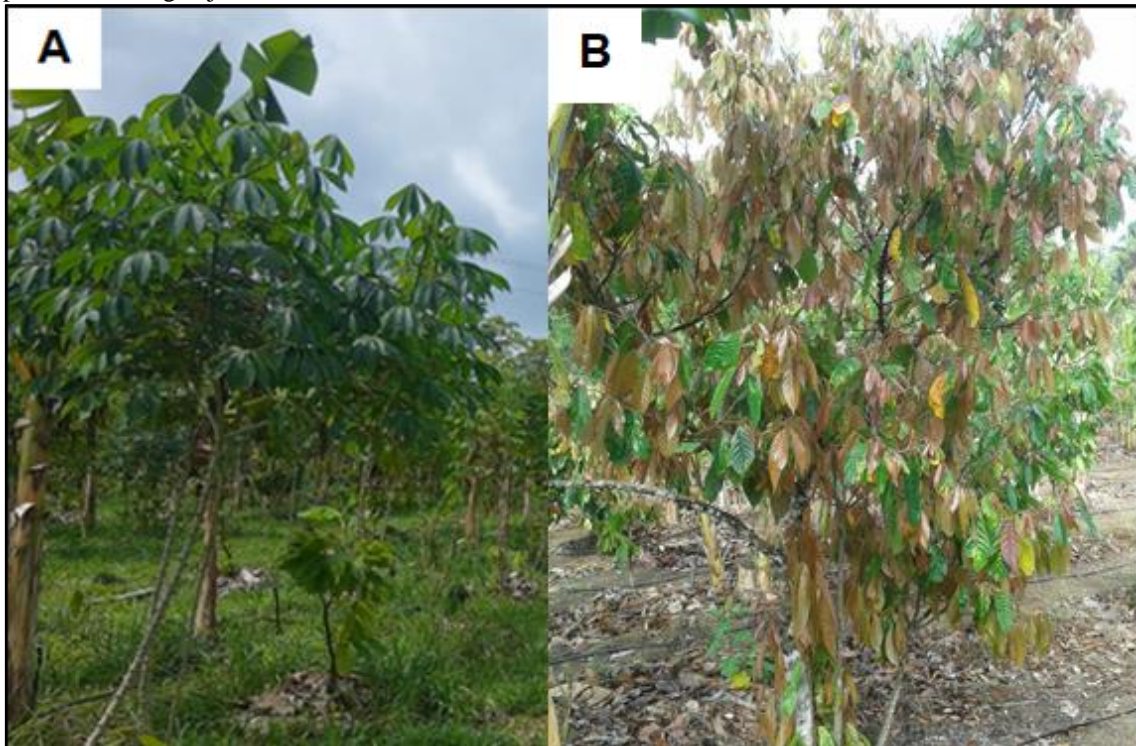
Dentro da realidade da região Sul da Bahia, são poucos os produtores que fazem o uso da irrigação para o cacaueteiro. Parte desse fato justifica-se por se tratar de um cultivo de regiões úmidas, com precipitações pluviométricas anuais superiores a 1500 mm, em sua maioria (SODRÉ, 2017). Outro fator que pode ser um impedimento em alguns casos é a topografia. Visto que os cultivos regionais são, em grande parte, em áreas de cabruca com relevos bastante acidentados, a instalação de um sistema de irrigação pode ser uma tarefa difícil.

Entretanto, o cacaueteiro é uma planta sensível a deficiência hídrica (RAMOS, SODRÉ e LEITE, 2018).

Não apenas fornecer a quantidade de água requerida pelo cacaueteiro é suficiente para evitar os danos e perda de produção. Outro fator importante é a distribuição dessa necessidade no decorrer dos meses para atender a demanda hídrica nas fases vegetativa e produtiva. Portanto, ao optar pelo uso da irrigação a escolha do método e o dimensionamento correto do sistema são fundamentais.

O método de irrigação localizada é um dos mais utilizados para o cultivo do cacaueteiro, devido a sua maior eficiência, menor uso de mão de obra, menor consumo de água e por conseguir adaptar-se praticamente a qualquer tipo de solo e topografia (SERRA e SODRÉ, 2021). Neste, a água é aplicada no colo da planta, de acordo com sua necessidade hídrica. Dessa forma, as perdas por evapotranspiração são menores quando comparado a métodos de irrigação por sulcos ou aspersão, visto que a lâmina de água aplicada molha apenas uma parte da superfície do solo. Os mais comumente usados são os sistemas de microaspersão e gotejamento (Figura 5).

Figura 5 – Sistemas de irrigação utilizados em cacauzeiros: A) sistema de irrigação por microaspersão em área de cacauzeiros jovens consorciados com bananeira e mandioca; B) irrigação localizada em cacauzeiro por sistema de gotejamento



Fonte: próprio autor (2021).

### 6.1 CUC E CUD: AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS

Existem coeficientes para a avaliação da eficiência dos sistemas de irrigação e sua distribuição de água. Os mais utilizados são o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), proposto por Criddle et al. (1956). A diferença é que para sistemas de irrigação por microaspersão podem ser utilizados os dois coeficientes, CUC e CUD. Para irrigação por gotejamento, usa-se apenas o CUD.

O CUC consiste em montar uma malha de pontos coletores de água dentro de uma área amostral dos sistemas de irrigação. Pereira et al. (2016) fizeram o uso desses coeficientes ao avaliarem a eficiência de sistema de irrigação por aspersão em pastagem. As equações para cálculo podem ser vistas abaixo:

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Xi - \bar{X}|}{N \bar{X}} \right] \quad (6)$$

Onde:

CUC: coeficiente de Uniformidade de Christiansen, em %



N: número de coletores;

$\bar{X}$ : lâmina média coletada, em mm;

$X_i$ : lâmina coletada no i-ésimo coletor, em mm

$$CUD = 100 \left( \frac{L_{q25\%}}{L_m} \right) \quad (7)$$

Onde:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

$L_{q25\%}$  = Média de 25% dos menores valores de lâminas observadas nos coletores, mm;

$L_m$  = lâmina média observada, em mm.

A classificação desses coeficientes para avaliar sistemas de irrigação por aspersão foi apresentada por Mantovani (2001), de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação dos valores de desempenho de sistemas de irrigação por aspersão

Classificação	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	> 90	> 84
Bom	80 a 90	68 a 84
Razoável	70 a 80	52 a 68
Ruim	60 a 70	36 a 52
Inaceitável	< 60	< 36

Fonte: adaptado de Mantovani (2001).

De acordo com Calgaro e Braga (2008), para sistemas de irrigação por gotejamento, a eficiência mínima do CUD deve ser de 85%.

## 6.2 CALCULANDO CUC E CUD PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO E GOTEJAMENTO

Para realizar o cálculo dos coeficientes deve-se realizar previamente uma amostragem dentro do sistema de irrigação. Essa amostragem consiste em montar uma malha de pontos dentro do sistema utilizando coletores de água que medirão as lâminas aplicadas e possibilitarão realizar os cálculos de eficiência.

As instruções a seguir estão de acordo as instruções técnicas para a determinação da uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada apresentadas por Calgaro e Braga (2008).

1º passo: Identificação das linhas laterais e emissores

Primeiro é necessário saber onde está a linha principal (LP) e quantas linhas laterais (LL) de gotejadores ou microaspersores atuam, ao mesmo tempo, dentro do sistema. De posse dessa informação, saber o número de emissores (gotejadores ou microaspersores) presentes em cada linha lateral (LL).

2º passo: escolha das linhas laterais

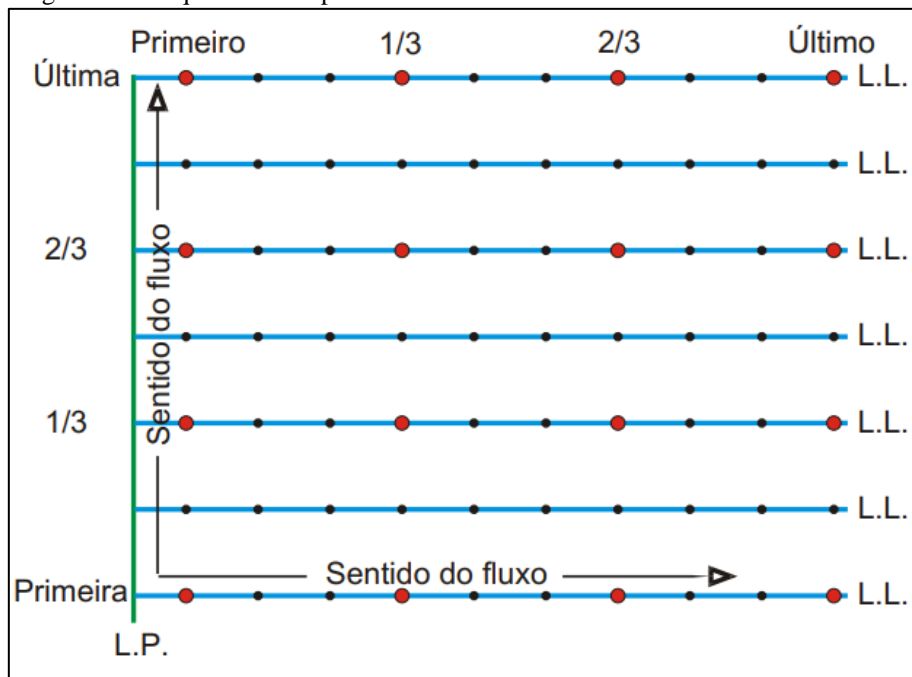
Deve-se escolher a primeira linha lateral (primeira linha a receber a água de irrigação proveniente da linha principal), a linha lateral que está a 1/3 do início da linha principal, a linha lateral que está a 2/3 do início da linha principal e a última linha lateral.

3º passo: escolha dos emissores

Deve-se selecionar os emissores ao longo de cada linha lateral do sistema. Seleciona-se o primeiro emissor da linha lateral, o emissor que está a 1/3 do início da linha lateral, o emissor que está a 2/3 do início da linha lateral e o último emissor da linha lateral.

Os passos 1, 2 e 3 podem ser visualizados conforme a Figura 6.

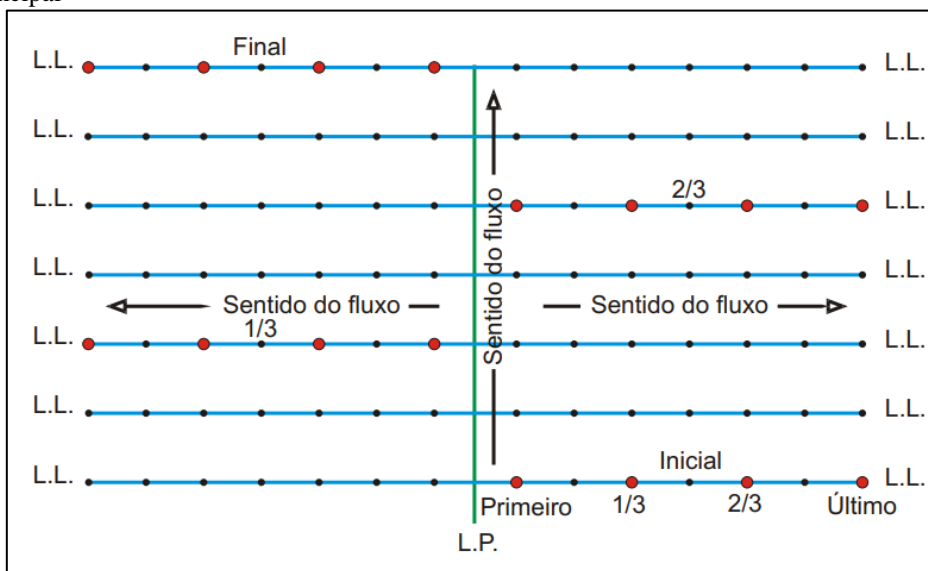
Figura 6 – Croqui da área representativa com escolha das linhas laterais e emissores



Fonte: Calgareo e Braga (2008).

Para os casos em que as linhas laterais se distribuem nos dois lados da linha principal a escolha das linhas laterais e dos emissores acontece de forma similar. Entretanto, a escolha das linhas laterais é alternada em ambos lados da linha principal, conforme a figura 7.

Figura 7 – Croqui de área representativa com escolha das linhas laterais e emissores para ambos lados da linha principal



Fonte: Calgaro e Braga (2008).

#### 4º passo: coleta de água e cálculos

Após a montagem da malha de pontos da área, deve-se coletar as lâminas de água aplicadas em cada ponto. A coleta de água conta com o auxílio de copos coletores e as lâminas devem ser medidas com auxílio de proveta graduada, caso o recipiente usado para a coleta não tenha graduação (Figura 8).

Figura 8 – Coleta da lâmina de água com copo coletor e medição com proveta graduada



Fonte: Calgaro e Braga (2008).

Somado a isso, deve-se cronometrar o tempo de aplicação e aferir a pressão de serviço dos emissores para calcular a variação de pressão das linhas laterais. Todos os valores das lâminas aplicadas pelos emissores devem ser registrados em uma planilha para o cálculo dos coeficientes CUC e CUD (Equações 6 e 7).

## 7 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

### 7.1 PELO TURNO DE REGA FIXO

De acordo com Albuquerque (2010), frequência de irrigação ou turno de rega é o intervalo entre duas irrigações consecutivas e ao utilizar o seu valor fixo há uma facilidade no manejo da irrigação, entretanto, é passível de erros, já que se trabalha com um valor fixo de evapotranspiração histórica da cultura (ET<sub>c</sub>) utilizada no projeto do sistema de irrigação.

Nesse sentido, esse método de manejo permite saber a lâmina a ser aplicada e a sua frequência de aplicação. Para isso é necessário realizar alguns cálculos. O primeiro deles é o da lâmina líquida (LL):

$$LL = CAD f z \quad (8)$$

Onde:

LL: Lâmina líquida (mm);

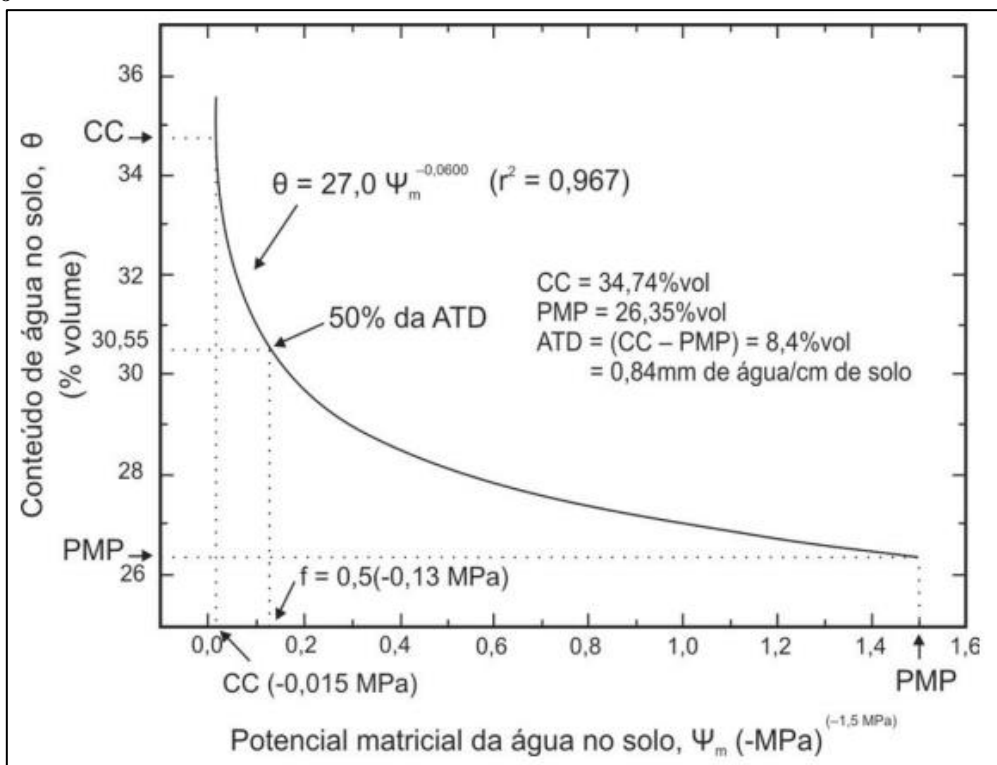
CAD: Capacidade de água disponível (mm de água/cm solo);

f: Coeficiente de disponibilidade (adimensional);

z: Profundidade efetiva do sistema radicular (cm)

Segundo Marouelli et al. (2011) a lâmina de água disponível para as plantas que pode ser armazenada pelo solo (conhecida como CAD) está retida entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). Uma das formas para a determinação do CAD é através da curva de retenção de água do solo (Figura 9).

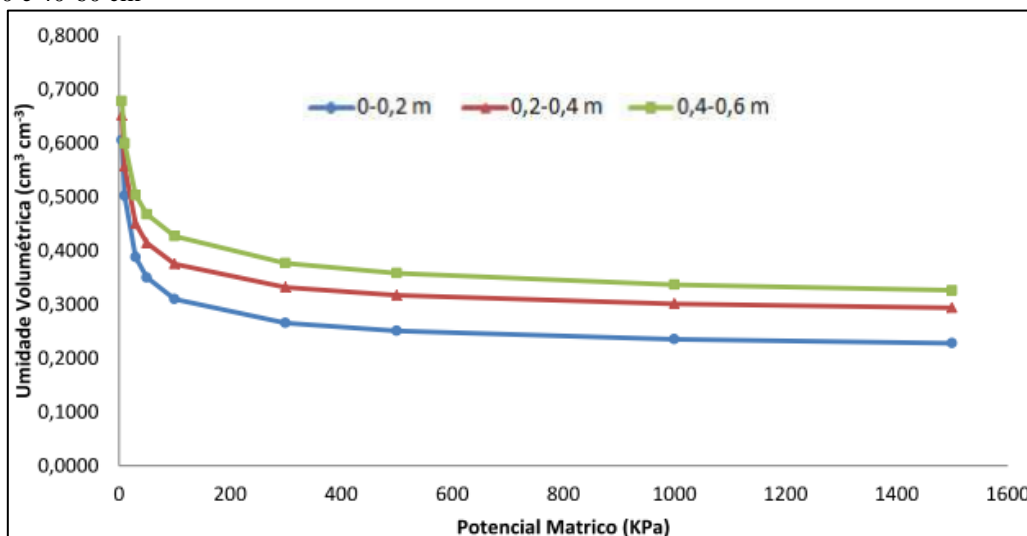
Figura 9 – Curva de retenção de água no solo e definição da capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD) para perfil de 0-90 cm de Latossolo Vermelho-Escuro



Fonte: Albuquerque (1997).

Bessa Leite (2013) também apresenta curvas de retenção de água em diferentes profundidades de um Nitossolo Háplico Eutroférrico, cultivado cacaveiros, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Curva de retenção de água em Nitossolo Háplico Eutroférrico para as profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm



Fonte: Bessa Leite (2013).

Essas curvas representam a relação entre a umidade e a tensão de água no solo, expressando o quanto um teor de água está retido no solo Marouelli et al., (2011), sendo de grande importância para o manejo de irrigação por turno de rega variável que será discutido mais adiante.

Os valores de CAD variam com a textura e estrutura do solo (ALBUQUERQUE, 2010), entretanto, podem ser estimados desde que se tenha conhecimento da classificação textural. Coelho et al. (2013) em estudo sobre determinação da umidade do solo de forma simplificada apresentaram um guia prático através do método do tato (Figura 11). A partir desse, o produtor pode ter uma noção da umidade do solo de acordo com as características físicas apresentadas.

Figura 11 – Avaliação para a umidade do solo através do método do tato para estimativa de diferentes porcentagens de água disponível, de acordo com a textura, consistência e aparência do solo

Textura do solo				
%AD	Arenosa	Média	Argilosa	Muito argilosa
100	Ao ser comprimido não perde água, mas umedece a mão.	Ao ser comprimido não perde água, mas umedece a mão, aparência escura.	Ao ser comprimido não perde água, mas umedece a mão, aparência escura.	Ao ser comprimido não perde água, mas umedece a mão, aparência escura.
75 – 100	Tende a se manter coeso; às vezes forma torrão roliço que se rompe facilmente.	Forma torrão roliço que se rompe facilmente e não desliza entre os dedos, aparência pouco escura.	Forma torrão roliço muito maleável que desliza facilmente entre os dedos, aparência pouco escurecida.	Ao ser comprimido desliza entre os dedos na forma de lâmina, aparência pouco escurecida.
50 – 75	Seco, não forma torrão roliço.	Tende a formar torrão roliço que raramente se mantém, aparência pouco escurecida.	Forma torrão roliço, algo plástico, que às vezes desliza entre os dedos ao ser comprimido, aparência pouco escurecida.	Forma torrão roliço que desliza entre os dedos na forma de lâmina ao ser comprimido, aparência pouco escurecida.
25 – 50	Seco, não forma torrão roliço.	Sinais de umidade, mas não se consegue formar o torrão roliço.	Forma torrão roliço, algo plástico, mas com grânulos.	Maleável, formando torrão roliço.
0 – 25	Seco, solto, escapa entre os dedos.	Seco, solto, escapa ente os dedos.	Seco, por vezes formando torrão roliço que raramente se conserva.	Duro, esturricado, às vezes com grânulos soltos na superfície.

Fonte: Coelho et al. (2013).

De acordo com Coelho et al. (2013), esse método consiste em realizar uma simples amostra de solo entre 25 e 50% da profundidade efetiva do sistema radicular e comparar suas características de acordo com a textura, consistência e aparência. Outra forma de determinação de algumas características físico-hídricas dos solos com base em sua textura (Figura 12) é apresentada por Albuquerque (2010) ao citar os autores Vermeiren e Jobling (1997).

Figura 12 – Valores aproximados de características físico-hídricas dos solos de acordo com sua textura

Textura do solo	VIB <sup>1</sup> (cm/h)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	CC <sup>2</sup> (%peso)	PMP <sup>3</sup> (%peso)	CAD <sup>4</sup> (%peso)	CAD <sup>5</sup> (mm/m)
Arenoso	5 (2,5–22,5)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	85 (70-100)
Franco-arenoso	2,5 (1,3-7,6)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	120 (90-150)
Franco	1,3 (0,8-2,0)	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	170 (140-190)
Franco-argiloso	0,8 (0,25-1,5)	1,35 (1,30-1,40)	27 (25-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	190 (170-220)
Silto-argiloso	0,25 (0,03-0,5)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	210 (190-230)
Argiloso	0,05 (0,01-0,1)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	230 (200-250)

\* Primeiro valor representa a média e os valores entre parênteses representam a faixa de variação.  
<sup>1</sup>VIB = velocidade de infiltração básica  
<sup>2</sup>CC = umidade do solo na capacidade de campo  
<sup>3</sup>PMP = umidade do solo no ponto de murcha permanente  
<sup>4</sup>CAD = água total disponível = (CC – PMP)  
<sup>5</sup>CAD em lâmina de água por profundidade de solo

Fonte: Vermeiren e Jobling (1997).

Outra forma de determinar o valor da capacidade de água disponível (CAD) do solo é através da equação:

$$CAD = \frac{(CC - PMP)ds}{10} \tag{9}$$

Onde:

CAD: Capacidade de água disponível, em mm de água por cm de solo

CC: umidade do solo que corresponde a capacidade de campo, em % de peso;

PMP: umidade do solo que corresponde ao ponto de murcha permanente, em % de peso;

ds: densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup> de solo

O coeficiente de disponibilidade hídrica “f” é dependente da cultura, do estágio de desenvolvimento das plantas e é influenciado pela taxa de evapotranspiração, tipo de solo e sistema de irrigação adotado (MAROUELLI et al., 2011). Esse coeficiente representa a fração de esgotamento de água no solo: quando seu valor é igual a zero, isso significa dizer que não há restrição, ou seja, o solo está em capacidade de campo, e quando seu valor é igual a 1, não há água disponível no solo, portanto, em ponto de murcha

permanente (ALBUQUERQUE, 2010). Esse autor ainda cita o termo “Água Facilmente Disponível” (AFD), sendo resultado do produto do CAD pelo coeficiente “F”, pois não se deve permitir que o conteúdo de água no solo atinja o ponto de murcha permanente.

A profundidade efetiva do sistema radicular é aquela onde se concentram 80% das raízes da cultura, como definido por Marouelli (2008). De acordo com Marouelli et al., (2011), fatores como textura, fertilidade do solo, práticas culturais e grau de compactação dos solos afetam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e quando a profundidade efetiva não é definida corretamente pode ocorrer aplicação de lâminas maiores ou menores do que a necessidade da cultura, ocasionando prejuízos econômicos.

Visto que o coeficiente de disponibilidade hídrica e a profundidade efetiva do sistema radicular é variável com as culturas, Allen et al. (1998), em seu estudo sobre evapotranspiração de culturas agrícolas apresentaram uma lista contendo informações sobre essas características para diversas culturas. Esses valores também foram apresentados por Coelho et al. (2000) e Marouelli et al. (2008), conforme é visto na Figura 13.

Figura 13 – Fator de reposição de água ao solo ( $f_r$ ) para hortaliças e fruteiras irrigadas por aspersão e sulcu, considerando uma  $ET_c$  de 5 mm dia<sup>-1</sup>

Cultura	$f_r^{(2)}$	Cultura	$f_r^{(2)}$
<b>Hortaliça</b>			
Abóbora-seca	0,30–0,40	Feijão-vagem	0,40–0,50
Alface	0,25–0,35	Folhosas em geral	0,25–0,35
Alho	0,25–0,35	Lentilha	0,55–0,70
Batata	0,30–0,40	Melancia	0,35–0,45
Batata-doce	0,55–0,70	Melão	0,40–0,50
Berinjela	0,40–0,50	Milho-doce	0,45–0,55
Beterraba	0,45–0,55	Morango	0,20–0,35
Brócolis	0,35–0,50	Pepino	0,45–0,55
Cebola	0,25–0,35	Pimentão	0,30–0,40
Cenoura	0,30–0,40	Repolho	0,35–0,50
Couve-flor	0,35–0,45	Tomate industrial	0,40–0,50
Ervilha-seca	0,55–0,70	Tomate de mesa	0,40–0,60
<b>Fruteiras</b>			
Abacate	0,45–0,60	Goiaba	0,30–0,40
Abacaxi	0,45–0,55	Manga	0,40–0,55
Banana	0,25–0,40	Maracujá	0,25–0,35
Caju	0,55–0,65	Uva de mesa	0,30–0,40
Citros	0,45–0,55	Uva vinífera	0,40–0,50

<sup>(1)</sup> Para 4 mm dia<sup>-1</sup> <  $ET_c$  < 6 mm dia<sup>-1</sup>, o valor de  $f_r$  pode ser ajustado por:  $f_{r(ajust)} = f_{r(natural)} + 0,04 (5 - ET_c)$ .  
<sup>(2)</sup> Os menores valores de  $f_r$  são para solos de textura grossa, enquanto os maiores são para os de textura fina.

Fonte: adaptado de Allen et al. (1998), Coelho et al. (2000), Marouelli et al. (2008) e Marouelli et al. (2011).



Para a cultura do cacaueteiro, de acordo com os dados apresentados por Allen et al. (1998), definiram a profundidade máxima do sistema radicular como 0,7 a 1,0 m e o fator de disponibilidade hídrica “f” como 0,3, considerando a evapotranspiração da cultura (ETc) diária como 5,0 mm. Para a profundidade efetiva das raízes, Serra e Sodré (2021) consideram que 80% das raízes absorventes do cacaueteiro encontram-se nos primeiros 20 cm de profundidade.

De posse dos dados para o cáculo de Lâmina líquida (LL) da equa o 8 e 9, pode-se estimar a lâmina bruta (LB):

$$LB = \frac{LL}{Ei} \quad (10)$$

Onde:

LB: lâmina bruta, em mm;

LL: lâmina líquida, em mm;

Ei: eficiência do sistema de irriga o, em valor decimal

A eficiência para os diferentes sistemas de irriga o   variável com o sistema adotado e pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Eficiência (Ei) de acordo com o sistema de irriga o

Sistema de irriga�o	Eficiência média (%)
Localizada	90 a 95
Pivô central	85 a 95
Aspersão convencional	80 a 90
Sulcos	50 a 70

Fonte: Mantovani et al. (2009).

O próximo passo   realizar o cáculo da frequência de irriga o, que possibilita ao produtor saber os intervalos (em dias) em que se deve colocar o sistema de irriga o em funcionamento. O cáculo   feito através da equa o:

$$F = \frac{LB}{ETc \text{ hist}} \quad (11)$$

Onde:

F: frequência de irriga o, em dias;

LB: lâmina bruta, em mm;

ETc hist: evapotranspiração histórica da cultura, em mm

A evapotranspiração da cultura (ETc) é um dos diversos coeficientes que quantifica as necessidades hídricas das culturas agrícolas. Esse tópico será abordado de forma mais detalhada no tópico 7.2.

O próximo cálculo necessário para a elaboração do manejo de irrigação pelo turno de rega fixo é o de tempo de irrigação. Esse valor informa o tempo de funcionamento do sistema de irrigação, em horas e pode ser calculado através das equações 12 e 13:

$$T_i = \frac{LB E_i E_e}{Q n} \quad (12)$$

Onde:

T<sub>i</sub>: tempo de irrigação, em horas;

LB: lâmina bruta, em mm;

E<sub>i</sub>: espaçamento entre linhas dos emissores, em metros;

E<sub>e</sub>: espaçamento entre emissores da mesma linha, em metros;

Q: vazão do emissor, em L h<sup>-1</sup>;

n: número de emissores

$$T_i = \frac{LB}{I_a} \quad (13)$$

Onde:

T<sub>i</sub>: tempo de irrigação, em horas;

LB: lâmina bruta, em mm;

I<sub>a</sub>: Intensidade de aplicação de água do sistema, em mm h<sup>-1</sup>.

A equação 12 é utilizada para sistemas de irrigação localizados enquanto que a equação 13 é destinada a sistemas de irrigação por aspersão convencional.

### 7.1.1 Exemplo prático sobre turno de rega fixo

Neste tópico será dado um exemplo prático utilizando as fórmulas apresentadas para realizar o manejo de irrigação a partir do método de turno de rega fixo.

**Dados:**

Dados do solo: Os dados do solo como CC e PMP usados no exemplo podem ser vistos de acordo com a Figura 12.

Textura: Franco Arenoso

CC = 14 g H<sub>2</sub>O/100 g solo seco

PMP = 6 g H<sub>2</sub>O/100 g solo seco

Densidade = 1,2 g cm<sup>-3</sup>

Fator de disponibilidade hídrica = 0,4

Dados do sistema de irrigação:

Sist. Irrigação por gotejamento (Eficiência 90%)

Espaçamento entre gotejadores = 0,5 m

Espaçamento entre linhas = 3 m

Vazão do gotejador = 2 L h<sup>-1</sup>

Dados da cultura:

Cacaueiro com espaçamento 3 x 3 m

Etc histórica = 5 mm dia<sup>-1</sup>

Profundidade efetiva do sistema radicular = 0,3 m

**Cálculos:**

Como determinar o manejo de irrigação:

Para determinar a Capacidade de Água Disponível (CAD):

$$CAD = \frac{(CC - PMP)ds}{10}$$

Onde:

CAD: Capacidade de água disponível, em mm de água por cm de solo

CC: umidade do solo que corresponde a capacidade de campo, em % de peso;

PMP: umidade do solo que corresponde ao ponto de murcha permanente, em % de peso;

ds: densidade do solo, em g cm<sup>-3</sup> de solo

$$CAD = \frac{(14 - 6) 1,2}{10} = 0,96 \text{ mm cm}^{-1}$$

Para determinar a lâmina líquida (LL):

$$LL = CAD \times f \times Z$$

Onde:

LL: Lâmina líquida (mm);

CAD: Capacidade de água disponível (mm de água/cm solo);

f: Coeficiente de disponibilidade (adimensional);

z: Profundidade efetiva do sistema radicular (cm)

$$LL = 0,96 \times 0,4 \times 30 = 11,52 \text{ mm}$$

Para determinar a lâmina bruta (LB):

$$LB = \frac{LL}{Ei}$$

Onde:

LB: lâmina bruta, em mm;

LL: lâmina líquida, em mm;

Ei: eficiência do sistema de irrigação, em valor decimal

$$LB = \frac{11,52}{0,90} = 12,8 \text{ mm}$$

Para determinar a frequência de irrigação:

$$F = \frac{LB}{ETc \text{ hist.}}$$

Onde:

F: frequência de irrigação, em dias;

LB: lâmina bruta, em mm;

ETc hist: evapotranspiração histórica da cultura, em mm

$$F = \frac{12,8}{5,0} = 2,56 \text{ dia}$$

A frequência de irrigação será considerada como 2 dias. Se for considerado 3 dias, pode haver estresse hídrico para o cacauzeiro. O valor de  $ET_c$  não é alterado. Dessa forma, deverá ser feito um ajuste na lâmina bruta:

$$F (2 \text{ dias}) = \frac{LB (mm)}{5,0 (ET_c)}$$

$$F = \frac{10}{5,0} = 2 \text{ dias}$$

Portanto, a Lâmina Bruta (LB) ajustada é 10 mm e a frequência de irrigação é de 2 dias.

Para determinar o tempo de irrigação:

$$T_i = \frac{LB E_i E_e}{Q n}$$

Onde:

$T_i$ : tempo de irrigação, em horas;

LB: lâmina bruta, em mm;

$E_i$ : espaçamento entre linhas dos emissores, em metros;

$E_e$ : espaçamento entre emissores da mesma linha, em metros;

Q: vazão do emissor, em  $L h^{-1}$ ;

n: número de emissores

$$T_i = \frac{10 \times 3 \times 0,5}{6 \times 2} = 1,25 \text{ h ou 1 hora e 15 min}$$

## 7.2 PELO TURNO DE REGA VARIÁVEL

De acordo com Marouelli, Braga e Guimarães (2013), o turno de rega variável é aquele cujo momento de realizar a irrigação é determinado em tempo real a partir de informações sobre o balanço de água no solo ou através da avaliação da tensão e

disponibilidade de água no solo. Dessa forma, diferentemente do método anterior, as lâminas de irrigação a serem aplicadas não são pré-definidas.

Podem ser utilizados instrumentos que medem o potencial matricial de água no solo ( $\psi_m$ ) como tensiômetros ou sensores de umidade do solo como os TDR (Reflectometria com domínio do tempo) e FRD (Reflectometria no domínio da frequência) que medem diretamente o conteúdo de água no solo (ALBUQUERQUE, 2010).

No turno de rega variável é utilizada a curva de retenção de água no solo, que de acordo com Coelho et al. (2000), expressa a relação entre o conteúdo de umidade e o potencial matricial do solo, como visto anteriormente. Essa curva pode ser construída a partir de procedimentos em laboratório, através da mesa de tensão, extratores de Richards e pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 2017) ou do método forno micro-ondas (FONSECA et al., 2011).

De acordo com Andrade et al. (1998), um método de campo para a determinação da curva de retenção de umidade do solo consiste em instalar instrumentos para medição da tensão matricial e umidade do solo, lado a lado, e realizar medições simultaneamente durante as mudanças de umidade e tensão. Para isso, é necessário instalar, na profundidade de interesse, de 3 a 4 tensiômetros em área de  $1\text{m}^2$  previamente saturada e realizar as medições da tensão do solo (MAROUELLI et al. 1996). Em seguida, devem ser realizadas coletas de solo para a determinação da umidade pelo método gravimétrico.

### **7.2.1 Uso de tensiômetros e sensores no manejo da irrigação**

Os tensiômetros são sensores que medem a tensão matricial do solo, simulando a força com que a água é retida no solo, que afeta a sua absorção pelas plantas (MAROUELLI, 2008). Esses sensores não apresentam custo elevado e conseguem, de forma indireta, fornecer dados das lâminas de água a serem aplicadas e o momento ideal da irrigação.

O tensiômetro (Figura 14) é um dispositivo composto por um tubo rígido com água em seu interior, contendo uma cápsula porosa na extremidade inferior que permite a troca entre a água do seu interior com o solo, e uma tampa na parte superior onde normalmente são acoplados vacuômetros

Figura 14 – Tensiômetro com vacuômetro metálico tipo Bourdon acoplado



Fonte: Marouelli et al. (2013).

Segundo Marouelli (2008), o solo funciona como um armazém de água para as plantas, que a absorvem conforme sua necessidade. Solos de textura argilosa apresentam uma capacidade de retenção de água elevada, portanto, mesmo se repletos de água podem não a disponibilizar para as plantas. De forma contrária, os solos arenosos têm baixa capacidade de retenção, significando que conseguem disponibilizar água facilmente. De todo modo, um reservatório completamente cheio não é necessariamente sinônimo de bom desempenho. A saturação do solo por água compromete a aeração do mesmo, obstruindo os poros e prejudicando as raízes.

O local de instalação dos tensiômetros deve ser representativo de todo o sistema radicular, onde eles possam detectar as variações de umidade e tensão de água do solo, simulando o sistema radicular das plantas (COELHO e SIMÕES, 2015).

De acordo com Marouelli (2008), devem ser instalados tensiômetros em pelo menos 3 pontos, as denominadas estações de controle. Cada estação deve conter dois tensiômetros, um instalado aproximadamente 50% da profundidade efetiva do sistema radicular, e o outro a 100%. O tensiômetro mais raso indicará o momento de iniciar a irrigação e o mais profundo indicará se a lâmina d'água aplicada é suficiente ou está em excesso. Algumas observações importantes são apontadas por Marouelli (2008):

1. Não pisotear ao redor das estações de controle para não alterar as características de retenção e infiltração de água do solo;
2. As leituras das estações de controle devem ser realizadas nas primeiras horas da manhã e devem ser anotadas em uma planilha de controle (Figura disponível no tópico 8.2);
3. As irrigações devem ser realizadas no momento em que a leitura média dos tensiômetros mais rasos das estações de controle forem iguais ou superiores à tensão limite adotada (Figura 16).

A Figura 15 apresenta o posicionamento de tensiômetros para a cultura do mamoeiro irrigado por gotejamento. Para o cacaueteiro, o esquema de instalação dos tensiômetros pode ser feito de forma semelhante, utilizando 50 cm de distância das plantas, como feito por Bessa Leite (2013).

Figura 15 – Posicionamento de tensiômetros em cultura de mamoeiro irrigado



Fonte: Coelho e Simões (2015).

De forma que o uso de tensiômetros relaciona-se com a curva de retenção de água do solo, Marouelli (2008) apresenta uma sugestão de lâminas a serem aplicadas de acordo com a textura do solo para os usuários que não possuem informações sobre a capacidade de retenção do solo em questão (Figura 16).



Figura 16 – Sugestão de lâmina de água necessária a cada irrigação (mm) de acordo com a tensão matricial (kPa), a cada 10 cm de camada de solo

Tensão (kPa)	Textura do solo*		
	Grossa	Média	Fina
15	2,0	3,6	5,0
20	2,3	4,2	6,0
30	2,8	5,4	8,0
40	3,3	6,6	9,0
50	3,5	7,2	10,0
70	3,8	7,8	11,0

\* Textura grossa incluem solos de classe textural: areia, areia franca e franco arenoso; textura média: franco, franco siltoso, franco argilo-arenoso e silte; e textura fina: franco argilo-siltoso, franco argiloso, argila arenosa, argila siltosa, argila e muito argiloso.

Obs.: Solos de cerrado de textura fina devem ser considerados, para efeito de retenção de água, como de textura média.

Fonte: Marouelli (2008).

De acordo com Serra e Sodré (2021), os valores médios de potencial matricial do solo recomendados para o cacauzeiro em áreas irrigadas estão entre 20 e 45 kPa para camadas de solo de 0-25 cm e entre 35 a 50 kPa, para a profundidade de até 40 cm. Bessa Leite (2013) trabalhou iniciando as irriga es dos cacauzeiros quando o tensiômetro a 30 cm indicasse uma tensão de 20 kPa.

Para informa es sobre o conteúdo de umidade do solo também   possível fazer o uso de sensores do tipo TDR – reflectometria no domínio do tempo (Figura 17) ou FRD – reflectometria no domínio da frequência (Figura 18).

Figura 17 – Reflect metros do tipo TDR utilizados no manejo de irriga o: A) TDR 100; B) Trase System



Fonte: Coelho e Simões (2015).

Figura 18 – Uso de reflectômetro do tipo FRD (sonda de capacitância) em campo



Fonte: Coelho e Simões (2015).

Para seu uso em campo, o posicionamento dos sensores para medição do conteúdo de água no solo deve ser criteriosamente selecionado. Coelho e Simões (2015) apresentam algumas definições para o posicionamento de sensores para manejo de irrigação de algumas fruteiras, considerando:

- a) Os limites da zona de extração de água pelas raízes, onde ocorre pelo menos 80% da absorção;
- b) Os limites da região onde ocorre pelo menos 80% do comprimento total das raízes, ou profundidade efetiva do sistema radicular.

Esses autores apresentam alguns dados para o posicionamento dos sensores em fruteiras comerciais, como pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 – Recomendação de posicionamento de sensores para determinação de umidade e tensão de água do solo em irrigação por microaspersão e gotejamento para fruteiras

Cultura	Frequência de irrigação (dias)	Emissor	Vazão do emissor L/h	Distância máxima da planta (m)	Profundidade máxima do solo (m)
Abacaxi	2	gotejamento	4	0,20	0,15 - 0,35
Citros	2	microaspersão	38	1,00	0,20 - 0,35
Bananeira	2	microaspersão	60	0,60	0,20 - 0,35
Bananeira	2	gotejamento	16	0,50	0,20 - 0,35
Mamão	2	gotejamento	12	0,65	0,20 - 0,50
Mamão	2	gotejamento	24	0,71	0,20 - 0,35
Mamão	2	micro	60	0,55	0,20 - 0,45
Mamão	2	gotejamento	12	0,70	0,20 - 0,45
Mangueira	2	micro	43 - 60	1,50	0,20 - 0,60
Maracujazeiro	2	gotejamento	8	0,40	0,20 - 0,35

Fonte: Coelho e Simões (2015).

Os dados apresentados na Figura 19 tem o objetivo de proporcionar o melhor posicionamento possível desses equipamentos de forma a obter uma representação correta da disposição das raízes no solo.

### 7.2.2 Exemplo prático sobre Turno de rega variável

Neste tópico será dado um exemplo prático utilizando o funcionamento e instalação de tensiômetros para manejo da irrigação através do método de turno de rega variável.

#### Dados:

Imagine um produtor que quer fazer o uso de tensiômetros para monitoramento da umidade do solo e indicação da lâmina de água a ser aplicada em uma área de cacau irrigado consorciado com bananeiras. O produtor não dispõe das informações sobre a curva de retenção de água no solo. O solo da área apresenta uma textura Franco Arenosa e o sistema de irrigação utilizado é microaspersão (Eficiência de aplicação de 90 %). Os emissores estão espaçados a 3,0 m x 6,5 m e aplicam uma vazão de 40 L h<sup>-1</sup>. A faixa de tensão-limite para a cultura do cacau será de 20 a 40 kPa e a profundidade efetiva das raízes será considerada como 30 cm. Para realizar o manejo, o produtor usará 3 estações de controle na área, com 2 tensiômetros em cada uma. As profundidades dos tensiômetros serão de 10 e 30 cm. As estações de controle estarão de controle serão instaladas a 50 cm de distância do cacau, conforme feito por Bessa Leite (2013).

**Observações e cálculos:**

Anotações e acompanhamento das leituras dos tensiômetros:

Como visto anteriormente, a irrigação a partir de tensiometria é feita quando a média dos valores lidos nos tensiômetros mais rasos das estações de controle é igual ou superior a faixa de tensão-limite. Para facilitar o cálculo das médias, pode-se utilizar uma planilha de acompanhamento mensal proposta por Marouelli (2008) conforme a Figura 20.

Figura 20 – Ficha de controle mensal de leitura das estações de controle para manejo da irrigação

Ficha de Controle Mensal									
Cultura: _____					Mês / ano: ____ / ____				
Unidade nº: _____					Data de plantio: ____ / ____ / ____				
Tabela de Leitura de Tensiômetros (kPa)									
Data	Estação de controle nº 1		Estação de controle nº 2		Estação de controle nº 3		Tensão média		Chuva / Irrigação (mm)
	Raso	Profundo	Raso	Profundo	Raso	Profundo	Raso	Profundo	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									

Fonte: Marouelli (2008).

Após realizar as leituras dos tensiômetros, as tensões indicadas devem ser anotadas e calculadas suas médias conforme a Figura 20.

Determinação da lâmina de irrigação a partir da textura do solo:

Visto que o solo da área apresenta textura Franco Arenosa, pode-se utilizar os valores da Figura 21 para determinação da lâmina de irrigação:

Figura 21 – Sugestão de lâmina de água necessária a cada irrigação (mm) de acordo com a tensão matricial (kPa), a cada 10 cm de camada de solo

Tensão (kPa)	Textura do solo*		
	Grossa	Média	Fina
15	2,0	3,6	5,0
20	2,3	4,2	6,0
30	2,8	5,4	8,0
40	3,3	6,6	9,0
50	3,5	7,2	10,0
70	3,8	7,8	11,0

\* Textura grossa incluem solos de classe textural: areia, areia franca e franco arenoso; textura média: franco, franco siltoso, franco argilo-arenoso e silte; e textura fina: franco argilo-siltoso, franco argiloso, argila arenosa, argila siltosa, argila e muito argiloso.

Obs.: Solos de cerrado de textura fina devem ser considerados, para efeito de retenção de água, como de textura média.

Fonte: Marouelli (2008).

A Figura 21 permite definir a lâmina de irrigação em milímetros de acordo com a tensão matricial trabalhada (no exemplo, entre 20 a 40 kPa). A textura Franco Arenosa está dentro da classificação “Grossa” na Figura 16. Para o exemplo, será definido que sempre que a média dos tensiômetros rasos indicar 30 kPa, será feita a irrigação. A lâmina indicada para a textura do solo Franco Arenosa ao atingir a tensão de 30 kPa é de 2,8 mm a cada 10 cm de camada de solo. A profundidade efetiva das raízes considerada no exemplo é de 30 cm, portanto a lâmina será multiplicada por 3. O cálculo da lâmina líquida (LL) será:

$$LL = 2,8 \times 3 = 8,4 \text{ mm}$$

Onde:

LL: lâmina líquida, em mm;

Para encontrar a lâmina bruta (LB), deve-se considerar a eficiência de aplicação do sistema de irrigação (Ei). O cálculo de lâmina bruta será:

$$LB = \frac{LL}{Ei}$$

Onde:

LB: lâmina bruta, em mm;

LL: lâmina líquida, em mm;

Ei: eficiência do sistema de irrigação, em valor decimal

$$LB = \frac{8,4}{0,90} = 9,33 \text{ mm}$$

Para determinar a intensidade de aplicação de água em sistema por microaspersão:

$$Ia = \frac{Q}{E1 \times E2}$$

Onde:

Ia: intensidade de aplicação, em mm h<sup>-1</sup>;

Q: vazão nominal, em L h<sup>-1</sup>;

E1: espaçamento entre aspersores, em metros;

E2: espaçamento entre linhas laterais, em metros.

$$Ia = \frac{40}{3 \times 6,5} = 2,05 \text{ mm h}^{-1}$$

Para determinar o tempo de irrigação para sistema de microaspersão:

$$Ti = \frac{LB}{Ia}$$

Onde:

Ti: tempo de irrigação, em horas;

LB: lâmina bruta, em mm;

Ia: intensidade de aplicação, em mm h<sup>-1</sup>

$$Ti = \frac{9,8}{2,05} = 4,55 \text{ horas ou } 4 \text{ h e } 33 \text{ min}$$

### 7.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Uma das formas do manejo da irrigação é através dos métodos com base em variáveis climáticas, pois permitem calcular a evapotranspiração da cultura (ETC) (MAROUELLI et al. 2011). A evapotranspiração da cultura quantifica a transferência de água para a atmosfera através da transpiração das plantas e da evaporação de água do solo, sendo função de fatores como radiação solar, velocidade do vento, radiação e temperatura do ar (MAROUELLI et al. 2011).

De acordo com Serra e Sodré (2021), para a região Sul da Bahia, o cacaueteiro, em seu estágio vegetativo até os 12 primeiros meses, em condições de céu nublado e ar úmido, consome de 0,8 a 1,6 mm dia<sup>-1</sup>. Nas mesmas condições, de 12 a 24 meses de idade, o consumo é de 2 a 4 mm dia<sup>-1</sup> e em dias secos e ensolarados, consome de 4 a 6 mm dia<sup>-1</sup>. Esses autores ainda destacam que em condições de alta temperatura e evapotranspiração e baixa umidade relativa, como na região semiárida, o consumo diário pode atingir de 6 a 8 mm dia<sup>-1</sup>, significando que a ETC do cacaueteiro é fortemente influenciada pela região de cultivo. Esse coeficiente pode ser calculado através da equação:

$$ETC = ETo Kc \quad (14)$$

Onde:

ETC: Evapotranspiração da cultura, em mm dia<sup>-1</sup>;

ETo: Evapotranspiração de referência, em mm dia<sup>-1</sup>;

Kc: Coeficiente da cultura (adimensional)

De acordo com Santos et al. (2004), a evapotranspiração de referência (ETo) pode ser medida a partir de dados meteorológicos da região coletadas em estações meteorológicas ou estimada a partir de tanques de evaporação, como o tanque classe “A”, que será discutido mais adiante.

O coeficiente da cultura (Kc) do cálculo de evapotranspiração de referência é variável de acordo com a cultura agrícola e com seu estágio de desenvolvimento. De acordo com Allen et al. (1998), o coeficiente Kc incorpora as características da cultura e os efeitos médios da evaporação do solo. Os dados de Kc para o cacaueteiro foram os disponibilizados pela FAO-56 (1998) conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de Kc para a cultura do cacaueteiro considerando porte máximo de 3 metros da planta.

<b>Kc inicial</b>	<b>Kc médio</b>	<b>Kc final</b>
1,00	1,05	1,05

Fonte: Adaptado de FAO Irrigation and Drainage, n° 56 (1998).

Em estudo com cacaueteiros jovens irrigados consorciados com bananeira e pau-brasil Bessa Leite (2013) encontrou valores de Kc de 0,5 até 1,1 para o município de Ilhéus – BA. Esse autor calculou a média de Kc encontrado no período estudado (agosto de 2012 a janeiro de 2013) igual a 0,9. Visto que esse coeficiente varia com o desenvolvimento da cultura, é necessário avaliar em qual estágio a mesma se encontra para a definição do Kc e realização correta dos cálculos.

Existem duas formas que são utilizadas para encontrar o valor da Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>): através de estações meteorológicas e com a utilização do Tanque Classe A. Esses assuntos serão descritos separadamente nos próximos tópicos devido à sua importância.

### 7.3.1 Estações meteorológicas

Informações climáticas são essenciais para o planejamento das práticas agrícolas. De acordo com Silva et al., (2019), grande volume de dados meteorológicos abrangentes são importantes pois permitem a correlacionar as mudanças atmosféricas com os processos que causam alterações na superfície terrestre.

As estações agrometeorológicas automáticas (Figura 22) tem função de monitorar as condições climáticas permitindo quantificar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) de uma região (ANDRADE JÚNIOR et al. 2008). Ainda segundo esses autores, os principais sensores de uma estação automática são sensor de temperatura e umidade relativa do ar, anemômetro, radiômetro global, e componentes como pluviômetro e em alguns casos, sensor para determinação do conteúdo de água no solo.



Figura 22 – Estação meteorológica automática



Fonte: [Agrosmart](#) (2021).

Um dos problemas para a obtenção de uma estação meteorológica própria é que o normalmente custo de aquisição desses equipamentos é elevado, podendo atingir de R\$ 10.000,00 a R\$ 20.000,00 em pesquisas on-line. Dessa forma, alguns estudos têm sido feitos sobre o desenvolvimento de estações meteorológicas e sondas atmosféricas com materiais de baixo custo (Da Silva et al., 2016; Picanço et al., 2016). Algumas empresas chinesas tem fabricado estações meteorológicas sem fio com conexão Wi-fi. Alguns desses equipamentos, como é o caso da estação HP2550 da empresa MISOL (Figura 23) podem vir a ser uma alternativa na obtenção de dados devido a quantidade de sensores que possuem, seu custo de aquisição inferior a R\$ 1500,00 e sua facilidade operacional. Em trabalho feito por Bouix (2021), foi observado uma boa correlação entre a evapotranspiração de referência calculada utilizando dados da estação *wireless* MISOL HP2550 em comparação com dados coletados por estação automática proprietária do INMET.

Figura 23 – Estação meteorológica MISOL HP2550 e display colorido para visualização de dados



Fonte: www.misolie.net (2021).

As variáveis climáticas coletadas em estações meteorológicas automáticas podem ser utilizadas para cálculos de evapotranspiração. Existem diversas metodologias para o cálculo da evapotranspiração de referência. Um dos mais comumente utilizados é a equação de Penman-Monteith (1948), apresentado pela FAO-56 (1998) para estimativa da  $ET_o$ :

$$ET_o = \frac{0,408(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34\mu_2)}$$

(15)

Onde:

$ET_o$  = Evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$R_n$  = Saldo de radiação à superfície ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ );

$G$  = Fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ );

$\gamma$  = Constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$T$  = Temperatura média diária ( $^\circ\text{C}$ );

$U_2$  = Velocidade do vento 2 m acima da superfície do solo ( $\text{m s}^{-1}$ );

$e_s$  = Pressão de saturação de vapor (KPa);

$e_a$  = Pressão real de vapor (KPa);

$\Delta$  = Inclinação da curva de vapor de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>).

No documento disponibilizado pela FAO-56 (1998) existe um guia completo das explicações de todas as variáveis componentes da equação além de outras formas de cálculo de algumas delas. De posse dessas informações, a equação de Penman-Monteith quantifica, em milímetros por dia, a evapotranspiração da região e esse valor pode ser utilizado para o cálculo da evapotranspiração da cultura como visto na equação 14.

### 7.3.2 Tanque Classe “A”

A utilização do tanque classe “A” é um dos métodos mais utilizados em todo o mundo para o manejo de irrigação devido ao seu custo de implementação relativamente baixo (em torno de \$ 1.500,00), possibilidade de instalá-lo próximo a cultura irrigada e facilidade de operação, apresentando bons resultados na estimativa da necessidade hídrica das culturas (SANTOS et al. 2004). A Figura 24 apresenta o tanque classe “A”.

Figura 24 – Tanque classe “A”



Fonte: Santos et al. (2004).

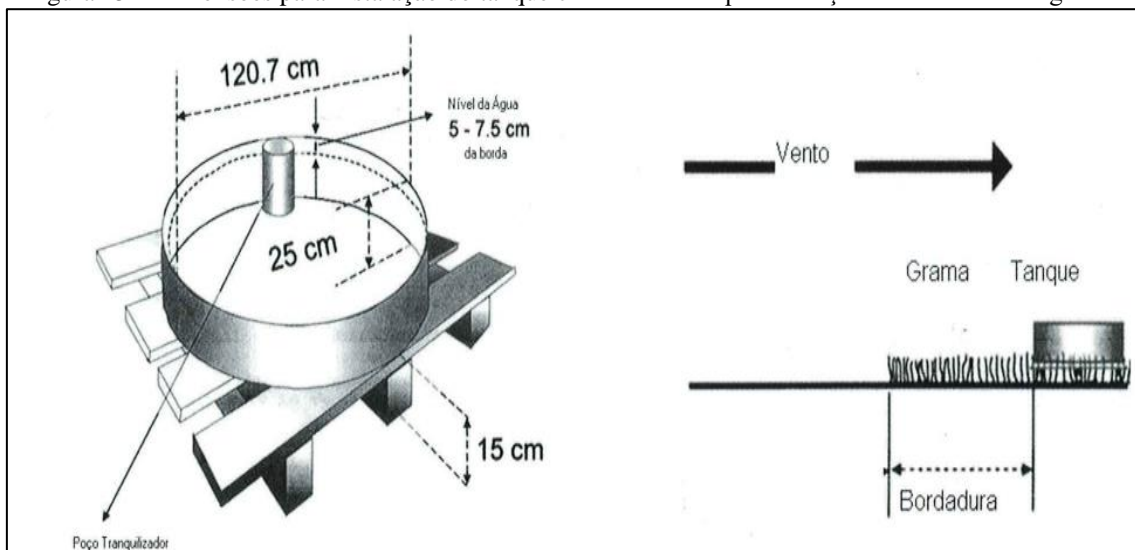
Stone e Silva (2004) apresentam algumas características e regras sobre o uso do tanque classe “A” para o manejo da irrigação, sendo elas:

- a) O tanque USWB Classe A é circular, de aço galvanizado, chapa 22, ou de metal monel 0,8 mm, com 121 cm de diâmetro interno e 25,4 cm de profundidade;

- b) Deve ser instalado sobre estrado de madeira de 15 cm de altura. O nível inicial da água deve ficar 5 cm abaixo da borda superior. Não se deve permitir variação do nível da água maior que 2,5 cm.;
- c) Um pluviômetro deve ser instalado próximo ao tanque, porque as chuvas também são consideradas no controle da irrigação. Quando estas ocorrerem, se o tanque estiver com o nível acima do normal, deve-se esvaziá-lo até que o nível da água volte ao normal.

Conceição (2001) apresenta um esquema das dimensões do tanque classe “A” e o local de instalação, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 – Dimensões para instalação do tanque classe “A” e esquematização da bordadura de grama



Fonte: Conceição (2001). Adaptado de Allen et al. (1998).

A taxa de evaporação do tanque é obtida pela equação:

$$ET_o = K_p EV \tag{16}$$

Onde:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência, em  $mm\ dia^{-1}$ ;

$K_p$  = coeficiente do tanque;

$EV$  = evaporação obtida pelo tanque classe “A”, em  $mm\ dia^{-1}$ .

O valor de  $EV$  deve ser medido no próprio tanque para saber qual foi a evaporação obtida. Para a determinação do  $K_p$ , esse coeficiente pode ser calculado através de equação:

$$Kp = 0,482 + 0,0553 \log F - 0,001354 Vv + 0,0045 UR \quad (17)$$

Onde:

F: largura da bordadura ao redor do tanque, em mm;

Vv: velocidade média do vento, em m s<sup>-1</sup>;

UR: média da umidade relativa do ar, em percentual.

Como alternativa para o cálculo do coeficiente Kp, Doorembos e Kassam (1979) apresentam a algumas relações a serem feitas de acordo com a umidade relativa, velocidade do vento e superfície de instalação do tanque, como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Coeficientes Kp para o tanque classe “A” de acordo com superfície, velocidade do vento, bordadura e umidade relativa do ar

V. Vento (m/s)	TANQUE SOBRE GRAMA				TANQUE SOBRE SOLO NU			
	Bordadura (m)	Umidade Relativa (%)			Bordadura (m)	Umidade Relativa (%)		
		< 40	40-70	> 70		< 40	40-70	> 70
< 2,0	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1.000	0,75	0,85	0,85	1.000	0,50	0,60	0,70
2,0 a 5,0	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1.000	0,70	0,80	0,80	1.000	0,45	0,55	0,60
5,1 a 8,0	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1.000	0,65	0,70	0,75	1.000	0,40	0,45	0,55
> 8,0	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1.000	0,55	0,60	0,65	1.000	0,35	0,40	0,45

Fonte: Doorembos e Kassam (1979).

A partir dos dados disponíveis na Figura 26 é possível encontrar, de acordo com a realidade das condições climáticas momentâneas, o valor do coeficiente do tanque classe “A” para realização do cálculo.

Uma vez obtidos os dados de evapotranspiração de referência, a evapotranspiração da cultura pode ser encontrada de duas formas: através do coeficiente da cultura ( $K_c$ ) (utilizando a equação 11 apresentada no tópico 7.2 – Evapotranspiração) ou através do coeficiente de irrigação ( $K_i$ ). As relações que utilizam o coeficiente de irrigação ( $K_i$ ) podem ser entendidas através das equações:

$$K_i = K_c K_p \quad (18)$$

Onde:

$K_i$ : coeficiente de irrigação (adimensional);

$K_c$ : coeficiente da cultura (adimensional);

$K_p$ : coeficiente do tanque classe “A”.

$$ET_c = K_i EV \quad (19)$$

Onde:

$ET_c$ : evapotranspiração da cultura, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$K_i$ : coeficiente de irrigação (adimensional);

$EV$ : evaporação obtida pelo tanque classe “A”, em  $\text{mm dia}^{-1}$ .

### 7.3.3 Exemplo prático sobre Evapotranspiração - uso do Tanque Classe “A”

Neste tópico serão dados exemplos práticos utilizando o manejo de irrigação através da evapotranspiração das culturas, incluindo cálculos com dados obtidos a partir de estação meteorológica automática e do Tanque Classe “A”.

#### Dados:

Imagine que um produtor instalou um Tanque Classe “A” em sua propriedade para fazer o manejo de irrigação de uma área de cacau irrigado a partir da evapotranspiração das culturas. O sistema utilizado é microaspersão, no qual os emissores estão espaçados a 3,0 m x 6,5 m e aplicam uma vazão de 40 L  $\text{h}^{-1}$ . O valor considerado de  $K_c$  para esse exemplo é de 0,8, de acordo com dados de Bessa Leite (2013). Esse produtor fez a leitura

da evaporação do tanque e observou uma evaporação de 4,1 mm. Seu tanque está instalado sobre a grama com uma bordadura de 10 m, e a velocidade do vento foi conferida por um anemômetro, indicando  $3,4 \text{ m s}^{-1}$ . A umidade relativa do ar foi de 85 %.

Determinando o  $K_p$ :

De acordo com os dados apresentados, pode-se fazer a escolha correta do coeficiente do tanque ( $K_p$ ) de acordo com a Figura 24 do tópico 7.2.2. Para a situação descrita acima, o valor de  $K_p$  que deve ser utilizado é 0,75. A partir disso é possível calcular a taxa de evaporação do tanque através da equação:

$$ET_o = K_p EV$$

Onde:

$ET_o$  = evapotranspiração de referência, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$K_p$  = coeficiente do tanque;

$EV$  = evaporação obtida pelo tanque classe “A”, em  $\text{mm dia}^{-1}$ .

$$ET_o = 0,75 \times 4,1 = 3,0 \text{ mm dia}^{-1}$$

Determinando a evapotranspiração da cultura:

Para determinar a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) deve-se considerar o coeficiente da cultura ( $K_c$ ):

$$ET_c = ET_o K_c$$

Onde:

$ET_c$ : Evapotranspiração da cultura, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$ET_o$ : Evapotranspiração de referência, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$K_c$ : Coeficiente da cultura (adimensional)

$$ET_c = 3,0 \times 0,8 = 2,46 \text{ mm}$$

Para determinar a Lâmina Bruta a ser aplicada:

$$LB = ETc \times Ei$$

Onde:

LB: lâmina bruta, em mm;

ETc: evapotranspiração da cultura, em mm dia<sup>-1</sup>;

Ei: eficiência do sistema de irrigação, em decimal

$$LB = 2,46 \times 0,9 = 2,21 \text{ mm}$$

Para determinar a intensidade de aplicação de água em sistema por aspersão convencional:

$$Ia = \frac{Q}{E1 \times E2}$$

Onde:

Ia: intensidade de aplicação, em mm h<sup>-1</sup>;

Q: vazão nominal, em L h<sup>-1</sup>;

E1: espaçamento entre aspersores, em metros;

E2: espaçamento entre linhas laterais, em metros.

$$Ia = \frac{40}{3 \times 6,5} = 2,05 \text{ mm h}^{-1}$$

Para determinar o tempo de irrigação para sistema de aspersão convencional:

$$Ti = \frac{LB}{Ia}$$

Onde:

Ti: tempo de irrigação, em horas;

LB: lâmina bruta, em mm;

Ia: intensidade de aplicação, em mm h<sup>-1</sup>

$$Ti = \frac{2,21}{2,05} = 1 \text{ horas ou } 1 \text{ h } 4 \text{ min}$$



### 7.3.4 Irrigâmetro

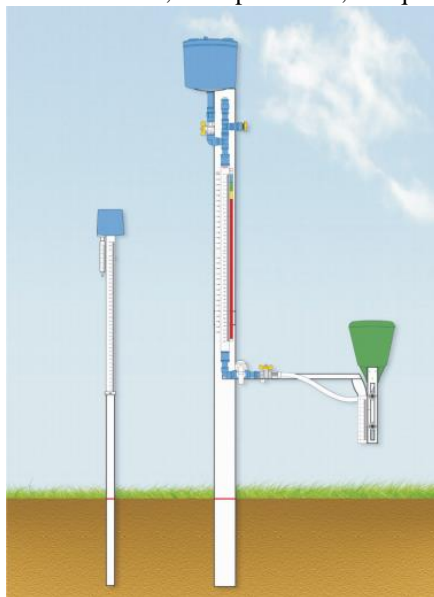
As informações descritas neste tópico são parte da Circular Técnica n° 84 da Embrapa, intitulada “Manejo da Irrigação do Feijoeiro com o Uso do Irrigâmetro”, produzida por Silveira, Ramos e Oliveira (2008).

De acordo com Silveira, Ramos e Oliveira (2008), o irrigâmetro é um dispositivo capaz de responder de forma simples algumas questões fundamentais no manejo de irrigação:

- a) “Quando irrigar?”
- b) “Qual a lâmina de água necessária a cultura?”
- c) “Qual o tempo de irrigação?”
- d) “Se chover, como se deve proceder no manejo da irrigação?”

O irrigâmetro (Figura 27) é um aparelho evapopluiométrico que estima a evapotranspiração, a precipitação e indica o momento e o tempo de irrigação ou velocidade do sistema irrigante (SILVEIRA, RAMOS e OLIVEIRA, 2008).

Figura 27 – Irrigâmetro: à direita, o evaporímetro; à esquerda, o pluviômetro



Fonte: Silveira, Ramos e Oliveira (2008).

Suponhamos uma situação à nível de exemplificação:

Para a elaboração de um manejo de irrigação que utilize o irrigâmetro, primeiro é necessário realizar um diagnóstico do solo da área e do sistema de irrigação que é adotado. Deve ser feita uma coleta de solo representativa da área a partir de amostragem, e essas são enviadas a laboratório para a determinação da densidade do solo, do “ponto de murcha permanente” e de “capacidade de campo” do solo. Essas características irão definir a

escolha da Régua de Manejo que equipa o irrigâmetro, portanto, o uso desse equipamento é específico para o solo da área a ser irrigada.

O irrigâmetro consta com régua graduada específicas para o tipo de solo, sistema de irrigação adotado e cultura em que se trabalha. Se o sistema de irrigação for pivô central, se utiliza a régua Percentual. Se o sistema for por aspersão convencional, opta-se pela régua temporal. Uma vez definida as régua de manejo, o equipamento deve ser instalado a um local próximo da área a ser irrigada, sem que o mesmo seja molhado.

Três régua de manejo adicionais acompanham o irrigâmetro e as mesmas são utilizadas de acordo com a sensibilidade das culturas ao estresse hídrico, sendo definidas como: CMC (Culturas muito sensíveis), CS (Culturas sensíveis) e CPS (Culturas pouco sensíveis).

As régua de manejo apresentam quatro faces para a indicação dos momentos em que há necessidade ou não de realizar irrigação, e cada face corresponde a um estágio de desenvolvimento da cultura:

Face G: Germinação;

Face 1: Desenvolvimento, que vai do fim da germinação até cobertura de 10% da superfície do solo;

Face 2: Desenvolvimento, que vai de 10% da cobertura do solo até a floração;

Face 3: Face que vai do momento da floração até a colheita

Para facilitar a operação, cada face das régua de manejo é colorida para indicar os momentos de irrigar:

- a) Azul: Não se deve irrigar;
- b) Verde: Não há necessidade de irrigação, a menos que seja viável em decorrência das atividades;
- c) Amarelo: Necessidade de irrigar;
- d) Vermelho: A necessidade de irrigar já foi ultrapassada e as plantas estão em estresse hídrico.

### **7.3.5 Exemplo prático sobre Irrigâmetro**

Neste exemplo será dado um exemplo prático sobre o uso do irrigâmetro para o manejo de irrigação em feijoeiro.

**Dados:**

Período de análise: 19/07/2009 a 24/07/2009;

Irrigação em feijoeiro;

Irrigação por pivô central;

Régua de manejo CS (Cultura sensível);

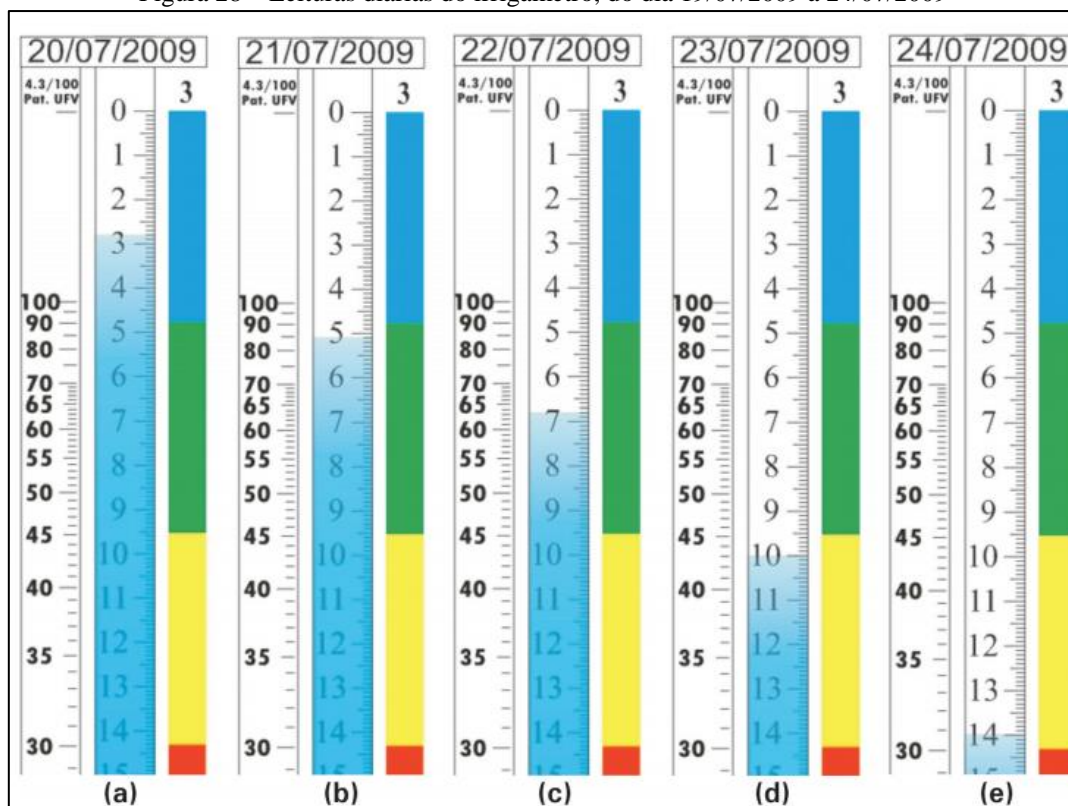
Lâmina líquida aplicada pelo pivô = 4,3 mm a 100% da velocidade de sua capacidade.

Observações do irrigâmetro:

- Dia 19/07: Foi aplicada uma lâmina a para suprir o déficit hídrico do solo, deixando-o na capacidade de campo.
- Dia 20/07: A leitura do irrigâmetro indica que a lâmina evapotranspirada pela cultura foi de 2,8 mm e o nível da água (coluna azul ao centro) está dentro do limite da faixa **azul** da régua, portanto, não se deve irrigar (Figura 28a).
- Dia 21/07: A leitura do irrigâmetro indica que a lâmina evapotranspirada pela cultura (acumulada) foi de 5,1 mm e o nível da água (coluna azul ao centro) está dentro do limite da faixa **azul** da régua, portanto, não se deve irrigar (Figura 28b).
- Dia 22/07: A leitura do irrigâmetro indica que a lâmina evapotranspirada pela cultura (acumulada) foi de 6,8 mm e o nível da água (coluna azul ao centro) está dentro do limite da faixa **verde** da régua, portanto, não há necessidade de irrigar (Figura 28c).
- Dia 23/07: A leitura do irrigâmetro indica que a lâmina evapotranspirada pela cultura (acumulada) foi de 10,0 mm e o nível da água (coluna azul ao centro) está dentro do limite da faixa **amarela** da régua, portanto, há necessidade de irrigar. Neste exemplo, como a faixa amarela ainda estava em seu início, optou-se por não realizar irrigação (Figura 28d).
- Dia 24/07: A leitura do irrigâmetro indica que a lâmina evapotranspirada pela cultura (acumulada) foi de 14,0 mm e o nível da água (coluna azul ao centro) está ao final do limite da faixa **amarela** da régua, portanto, há necessidade de irrigar. Ao optar-se pela irrigação, programou-se o pivô para deslocar-se a velocidade de 31% da sua capacidade conforme indicado na régua percentual à esquerda (Figura 28e).

As leituras do irrigômetro para o entendimento do exemplo acima podem ser vistas na Figura 28.

Figura 28 – Leituras diárias do irrigômetro, do dia 19/07/2009 a 24/07/2009



Fonte: Silveira, Ramos e Oliveira (2008).

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo servir de guia para o manejo da irrigação em cacauzeiros na região Sul da Bahia. Foi feita uma extensa pesquisa de bibliografias para compilar o máximo de conhecimento prático que sobre manejo de irrigação utilizado na região. A partir da abordagem teórica sobre o cultivo do cacauzeiro, assim como a parte prática de cálculos, espera-se com esse trabalho, ajudar os produtores rurais a desenvolverem seus cultivos de cacau irrigados visando redução de desperdício dos recursos naturais e consumo de energia, afim de obter aumento de produtividade de uma forma consciente.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Estratégias de manejo de irrigação: exemplos de cálculo.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 136).

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Evapotranspiração, balanços de energia e da água no solo e índices de estresse hídrico da cultura, em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), submetido a diferentes frequências de irrigação.** 1997. 147 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

ALMEIDA, H. A.; VILLA NOVA, N. A.; KLAR, A. E. Estimativa da demanda hídrica do cacauzeiro (*Theobromacacao* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura.** Jaboticabal, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 402-406, dezembro 2000.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Estações Agrometeorológicas Automáticas. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. (Embrapa Meio-Norte. Cartilha).

ANDRADE, C. et al. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE).** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. Manejo de irrigação. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. cap. 1, p. 1-45., 1998.

ARAÚJO, E. L. et al. Obtenção de peso de mil sementes em genótipos de cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). Espírito Santo: seminário de iniciação científica e tecnológica (sict) do incaper, 2016.

BESSA LEITE, M. S. Consumo hídrico do cacauzeiro jovem irrigado por gotejamento em consórcio com bananeira e Pau-Brasil. Ilhéus, BA. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2013.

BOUIX, C. P. S. **Uso de estação meteorológica *wireless* para o manejo de irrigação na cacauicultura.** 2021. 80 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2021.

CALGARO, M.; BRAGA, M. B. Determinação da uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada. Petrolina-PE: Embrapa Semi-Árido, 2008. (Instruções Técnicas, 86). Disponível em: <  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/161932/1/INT86.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

CARVALHO, L. G et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesq. Agropec. Trop**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling.** Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124p. Bulletin, 670.

COELHO, E. F. et al. **Método simplificado de determinação da umidade do solo para uso em manejo de irrigação em agricultura familiar**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Comunicado Técnico, 155).

COELHO, E. F. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 40).

COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L. **Onde posicionar sensores de umidade e de tensão de água do solo próximo da planta para um manejo mais eficiente da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e fruticultura, 2015. (Embrapa Mandioca e fruticultura. Circular técnica, 109).

COLEÇÃO SENAR (Brasília). Cartilha 215. **Cacau: Produção, manejo e colheita**. Brasília: Senar, 2018.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Determinação da evapotranspiração de referência com base na evaporação do Tanque Classe A na região noroeste de São Paulo**. Jales: Embrapa Uva e Vinho, 2001. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 37).

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Irrigação de fruteiras por microaspersão**. Bento Gonçalves: Embrapa uva e vinho, 2004. (Embrapa uva e vinho. Circular técnica, 49).

COTTA, M. K. et al. Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 969 – 978. 2008.

CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C.; SHOCKLEY, D. G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington DC: Soil Conservation Service- USDA, 1956. 24p.

D'ANGIOLELLA, G; VASCONCELLOS, V. L. D; ROSA, J. W. C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 83-90.

DA SILVA, A. C. M. et al. Estação meteorológica de baixo custo. Juiz de Fora: Multiverso: **Revista Eletrônica do Campos de Juiz de Fora-IF Sudeste MG**. Vol. 1, n. 1, p. 46-56, 2016.

DESPOTIN, M. A. Zoneamento agroclimático e de risco climático para a cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.) no estado do Pará. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, Piracicaba, 2018.

EFRAIM, P. et al. Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. **Ciência e tecnologia de alimentos**, v. 30, p. 142-150, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cta/a/bzhHNDMYRc7kPRsVgtyLLw/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 18 jul. 2021.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 3º edição, 2017, 574 p.

FAOSTAT – Compare Data Production-crops: Cocoa, beans. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>. Acesso em: 16 de fev. 2021.

FONSECA, S. O., et al. **Avaliação do método do forno microondas para a determinação de umidade do solo em relação ao método padrão de estufa**. Anais do XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação–Universidade do Vale do Paraíba, 2011.

INTERNATIONAL COCOA OF ORGANIZATION. Summary of revised forecasts and estimates. Acesso em 16 de fev. 2021. Disponível em: < August 2020 Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics - International Cocoa Organization (icco.org)>

JÚNIOR, T. J. de P; VENZON, M. **101 Culturas-Manual de Tecnologias Agrícolas**, Epamig. Belo Horizonte, Brasil, 804 p, 2007.

LEITE, J. B. V. et al. Comportamento produtivo de cacau no semiárido do Brasil. **Agrotrópica**, Ilhéus, v. 24, n.2, p. 85 – 90. mai./ago. 2012.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação - princípios e métodos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. v. 1, 318 p.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil quer ganhar posições na produção mundial de cacau e chocolate. 2019. Disponível em: <Brasil quer ganhar posições na produção mundial de cacau e chocolate — Português (Brasil) (www.gov.br)>. Acesso em: 27 mai. 2021.

MARQUELLI, W. A. **Manejo da água de irrigação**. In: SOUSA, V. F. et al. (Ed.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. cap. 5. p. 158-232.

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 57).

MARQUELLI, W. A; BRAGA, M. B; GUIMARÃES, T. G. **Irrigação na cultura da batata**. Embrapa Hortaliças, 2013. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 128).

MARQUELLI, W. A; SILVA, W. L. C; SILVA, H. R. **Manejo de irrigação em hortaliças**. 5ª ed. Rev. Ampl. Brasília: Embrapa – Serviço de Produção de informação, 72 p. 1996.

MARQUES, J. R. B; MONTEIRO, W. R. Substituição sustentável de eritrina por seringueira em cacauero. **Agrotrópica**, Ilhéus, v. 28, n. 2, p. 101 – 122. mai./ago. 2016.

MUDRIK, A. S. et al. Análise e definição de metodologia de cálculo de coeficiente de localização (kl) em irrigação por gotejamento no cafeeiro. In: **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. Brasília, 2005.

MÜLLER, M. W; GAMA-RODRIGUES, A. C. Sistemas agroflorestais com cacauero. **Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacauero**. CEPLAC/CEPEC, Ilhéus, p. 246-271, 2007.

MÜLLER, M. W; VALLE, R. R. Ecofisiologia do cultivo do cacauero. In: VALLE, R. R. (Ed.). **Ciência, tecnologia e manejo do cacauero**. Itabuna: Gráfica e Editora Vital Ltda., 2007. p. 17-41.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Coeficiente de cultura e relações hídricas do cafeeiro, cultivar catucaí, sob dois sistemas de manejo da irrigação. **Pesq. Agropec. Trop**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 154-162, set. 2007.

PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, M. **101 culturas: Manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.

PEREIRA, L. R. et al. Uniformidade e eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão em pastagem. **Revista Agrarian**. Dourados, v. 9, n. 32, p. 156-161, 2016.

PIASENTIN, F. B; SAITO, C. H. Os diferentes métodos de cultivo de cacau no sudeste da Bahia, Brasil: aspectos históricos e percepções. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciênc. hum.**, Belém, v. 9, n. 1, p. 61 - 78, abr. 2014. Disponível em: < Os diferentes métodos de cultivo de cacau no sudeste da Bahia, Brasil: aspectos históricos e percepções (scielo.br)>. Acesso em: 16 fev. 2021.

PICANÇO, G. A. da S. et al. Desenvolvimento de uma Sonda Atmosférica Sem Fio para estudos ambientais de baixo custo. **Revista do Centro de Ciências e Naturais e Exatas**, Santa Maria, vol. 38. p. 118-121, 2016.

RAMOS, A. et al. Desenvolvimento de mudas de cacauero em função de níveis de aplicação de água. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 27, n.1, p. 19 - 24. jan./abr. 2015.

RAMOS, A; SODRÉ, G. A; BESSA LEITE, M. S. Irrigação em cacaueros. In: SOUZA JÚNIOR, J. O. **Cacau: cultivo, pesquisa e inovação**. 1ª ed. Ilhéus: EDITUS, 2018. cap. 14, p. 425-447.

ROME: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage, 56). Disponível em: < Chapter 6 - ETc - Single crop coefficient (Kc) (fao.org)>. Acesso em: 09 de mar. 2021.

SANTANA, A. S. et al. Competitividade e efeito de medidas políticas no consórcio cacauero-seringueira. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 58, n. 3, jul. 2020. Disponível em: < Competitividade e efeito de medidas políticas no consórcio cacauero-seringueira (scielo.br) >. Acesso em 16 de fev. 2021.

SANTANA, S. O. et al. **Levantamento detalhado de solos do CEPEC (CEPLAC), Ilhéus, Bahia, Brasil**. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2016. Boletim técnico, n. 207. 58 p.

SANTOS, F. J. de S. et al. **Manejo da Irrigação da melancia: Uso do tanque classe "A"**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria, 2004. (Embrapa Agroindústria. Circular Técnica, 20).



SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 356 p. 2018.

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Dia do cacau: Pará é o maior produtor do país. Conheça os benefícios do fruto. 2020. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/26-de-marco-dia-do-cacau-para-e-o-maior-produtor-do-pais-conheca-os-beneficios-do-fruto>>.

SERRA, W. S; SODRÉ, G. A. **Manual do cacauicultor: perguntas e respostas**. Brasil. Ilhéus, BA, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico, n° 221. 190 p. 2021.

SILVA, C. B. et al. Precipitação na América do Sul – dados obtidos por estações meteorológicas automáticas e por sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 25, ago. 2019.

SILVEIRA, P. M; RAMOS, M. M; OLIVEIRA, R. A. **Manejo da Irrigação do Feijoeiro com o Uso do Irrigâmetro**. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 84).

SODRÉ, G. A. **Cultivo do cacauzeiro no estado da Bahia**. Ilhéus, BA, MAPA/Ceplac/Cepec. 126 p, 2017.

SODRÉ, G. A; MARROCOS, P. C. L. **Manual da produção vegetativa de mudas de cacauzeiro**. Ilhéus: Editus, 2009. 47 p.

SOLOMON, K. H. Irrigation systems and their water application efficiencies. **Agribusiness Worldwide**, Westport, v. 12, n. 5, p. 16-24, 1990.

SOUZA, E. A. T. et al. Estoque de carbono nos principais solos da Mesorregião Sul baiana, Bahia, Brasil. **Agrotrópica**, Ilhéus, v. 24, n.2, p. 99 - 108. mai./ago. 2012.

STONE, L. F; SILVA, S. C. **Uso do Tanque Classe A no Controle da Irrigação do Arroz de Terras Altas Cultivado sob Plantio Direto**. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 63).

Van Vliet, Jiska A., and K. E. Giller. **Mineral nutrition of cocoa: a review**. Advances in agronomy. Academic Press, v. 141, p. 185-270, 2017.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Irrigação localizada**. Campina Grande, UFPB, 1997. 184 p. (Estudos FAO. Irrigação e drenagem, 36).

ZANETTI, L. V. Efeito da radiação ultravioleta-B e adubação silicatada sobre a morfologia, fisiologia e bioquímica de dois genótipos de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae). 2017. 110 f. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

ZUGAIB, A. C. C. et al. Valoração ambiental do sistema cacau cabruca para efeito de crédito rural em Barro Preto, Bahia. Ilhéus: CEPLAC, 2017. 47 p. (Boletim técnico, 208).

ZUGAIB, A. C. C; BARRETO, R. C. S. et al. Fatores que influenciam a oferta e demanda do cacau no mercado internacional. **Agrotropica**, Ilhéus, v. 27, n.1, p. 67 - 78. Jan./abr. 2015.