

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO**  
***CAMPUS GUANAMBI***

**PROJETO IOT: ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PARA MONITORAMENTO DE**  
**IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

Bruno Reis Silva  
Maicon Robert Pereira De Sales  
Paulo César Fernandes  
Victor Henrique Fonteles Silva

GUANAMBI-BA  
2022

Bruno Reis Silva  
Maicon Robert Pereira De Sales  
Paulo César Fernandes  
Victor Henrique Fonteles Silva

**PROJETO IOT: ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PARA MONITORAMENTO DE  
IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO**

Projeto elaborado como requisito parcial de  
nota na disciplina de Projeto Integrador, do  
curso Informática para Internet, do Instituto  
Federal Baiano

Orientador | Professor: Woquiton Fernandes

GUANAMBI-BA

2022

## RESUMO

No contexto do desenvolvimento socioeconômico atual, a agricultura tem sido um pilar importante na economia de países subdesenvolvidos. Esta, com a técnica de irrigação, é a prática mais consumidora de água no mundo. Assim, sem os devidos cuidados, pode se tornar um problema frente a um futuro em que a sustentabilidade é fator essencial para a garantia da disponibilidade dos recursos necessários para a vida humana. Assim, o presente trabalho busca desenvolver uma estação meteorológica de pequeno porte para melhor otimização da irrigação no meio agrícola, a partir da utilização de sensores para coleta e análise de dados climáticos, que influenciam o desenvolvimento da cultura. Propõe-se, dessa forma, reduzir o consumo de água e energia no meio agrícola, através do manejo efetivo dos recursos hídricos graças à mensuração ideal do tempo de irrigação, sendo possibilitado por meio da construção de uma ferramenta composta por uma estação meteorológica com tecnologia da Internet das Coisas, e um sistema web de monitoramento em tempo real.

**Palavras-chave:** Água; Irrigação; IoT; Meteorologia; Sensoriamento.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Objetivos</b>	<b>6</b>
1.1.1. Objetivo Geral	6
1.1.2. Objetivos Específicos	6
<b>1.2. Justificativa</b>	<b>6</b>
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>7</b>
2.1. A irrigação na prática da agricultura	7
<b>2.1.1. Agrometeorologia na Irrigação</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1.1. Determinação Da Evapotranspiração</b>	<b>11</b>
2.1.1.2. Coeficiente de crescimento (Kc)	14
<b>2.2. Agricultura e Sua Evolução</b>	<b>19</b>
<b>2.3. Iot - Internet Of Things</b>	<b>20</b>
2.3.1. Arquitetura IoT	21
2.4. Agricultura Familiar e Desafios Para a Implementação de Tecnologias	21
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>24</b>
3.1.1. Materiais	24
3.1.2. Desenvolvimento	27
<b>3.2. Camada de Aplicação</b>	<b>29</b>
3.2.1. Diagramação, Prototipagem e Codificação da Plataforma	29
<b>3.3. Camada de Middleware (Comunicação)</b>	<b>29</b>
<b>4. RESULTADOS ESPERADOS</b>	<b>31</b>
<b>5. CRONOGRAMA</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>38</b>
APÊNDICE A - Tabelas de sensores de temperatura	38
APÊNDICE B - Tabela de sensores de umidade relativa	38
APÊNDICE C - Tabela de sensores de pressão atmosférica	39
APÊNDICE D - Tabela de sensores de radiação solar	39

## 1. INTRODUÇÃO

Iniciada há milhares de anos, a agricultura, a prática de cultivo de plantas e criação de gado, é um fator imprescindível ao desenvolvimento humano. Por meio dela, produzem-se alimentos, matéria-prima industrial e produtos primários para comércios e setores de serviços, tornando-se, portanto, um pilar central na economia mundial. No Brasil, é um dos setores com maior relevância na economia, sendo responsável por 21% do PIB nacional, um quinto de todos os empregos e 43,2% das exportações brasileiras, arrecadando um total aproximado de US \$96,7 bilhões em 2019 (BRASIL, 2020). Ademais, estima-se um crescimento de 20% na produção agrícola em dez anos (FAO e OCDE, 2018), acompanhado também por um crescente avanço tecnológico.

Considerando os avanços e desenvolvimento tecnológico da agricultura, aponta-se um caminho de transformação pautado em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PDI). Conforme pontua a Embrapa (2020), percebe-se o crescimento de um novo modelo agrícola alicerçado em temas transversais do conhecimento, tais como a intensificação sustentável (com destaque em sistemas de lavoura, pecuária e floresta atuando de forma integrada – ILPF), biotecnologia e bioeconomia, gestão de risco, convergência tecnológica e tecnologias digitais, que por sua vez, predomina-se no uso de drones, sensores, inteligência artificial e internet das coisas – IoT. Tais fatores, promovem mais valor à produção agrícola e viabilizam a segurança alimentar social e a preservação da base dos recursos naturais de forma ainda mais eficiente, onde a agricultura possui função causal e crescente na solução de numerosos problemas ambientais vindouros, atuando na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, acentuando a biodiversidade e promovendo a atenuação de carbono na atmosfera, como afirma Lal (2007).

Habitando-se a este corpo sustentável e tecnólogo, com enfoque no contexto socioeconômico regional, por sua vez, relevante na produção agrícola mas marcado pela presença ínfima de tecnologias eletrônicas, seja por fatores de custo ou desinformação, não contemplando, em suma, seu potencial agrícola e sustentável, visa-se a criação de um projeto que integrasse o meio, atuando para a sustentabilidade e desenvolvimento local, por meio de iniciativas tecnológicas.

Almejando-se isso, pretende-se o desenvolvimento de um sistema de controle de irrigação por gotejamento por meio de uma estação meteorológica, configurando-se, portanto, um sistema IoT. Por meio deste, espera-se atenuar os custos com consumo de água e energia na irrigação, fomentando o seu uso de maneira sustentável através da

redução do desperdício, além de promover a aplicação de novas tecnologias em espaços agrícolas de pequeno porte.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Desenvolver uma ferramenta auxiliar para o manejo de irrigação com monitoramento à distância .

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Elaborar uma estação meteorológica de pequeno porte para coleta de dados climatológicos;
- Mensurar a vazão de água necessária para irrigação com base nos dados climatológicos;
- Desenvolver plataforma web responsiva para monitoramento e controle da estação;
- Observar a atuação de fatores climatológicos sobre o processo de transpiração das plantas.

## **1.2. Justificativa**

A ação humana sobre o meio ambiente tem sido uma fonte crescente de preocupação devido aos seus impactos na biodiversidade, no clima e na disponibilidade de recursos naturais, como a água, recurso vital para a vida humana e a atividade agrícola.

Cerca de 70% de toda a água no mundo é destinada à prática da agricultura, voltada para a produção de alimentos e outras culturas agrícolas. Já os setores industrial e urbano consomem 21% e 9%, respectivamente (CHRISTOFIDIS, 1999). Em território nacional, a agricultura atua como o maior consumidor de água, em que cerca de 18% de todo o espaço destinado ao cultivo é irrigado, o que corresponde a cerca de 42% da produção total (CHRISTOFIDIS, 1999).

Por outro lado, o uso ineficiente da água na agricultura pode levar ao desperdício de recursos hídricos e energéticos. Nesse sentido, Aragão (1982) pontua a análise climatológica, como uma estratégia que permite compreender como os fatores meteorológicos afetam o desenvolvimento das plantas,

Dessa forma, emana-se a necessidade de construir uma estação meteorológica

como ferramenta auxiliar no processo da prática agrícola no tocante à gestão eficiente de recursos, uma vez que seria utilizada para mensurar o consumo ideal de água diário com base nas informações climáticas obtidas pela estação, ao passo de levar uma tecnologia acessível para produtores com baixo poder aquisitivo e pouco conhecimento técnico sobre meteorologia e o ciclo da água na cultura.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. A irrigação na prática da agricultura**

Devido às variações nos elementos do solo e atmosfera, plantas em condições de campo são submetidas a pressões ambientais durante todo o seu ciclo de crescimento, conforme destaca Marouelli et al (2011). Nesse sentido, o nível de água no solo é um elemento crítico que impacta o desenvolvimento e crescimento das plantas. Sem reposição hídrica através de chuvas ou irrigação, uma redução prolongada no teor de água no solo pode causar problemas fisiológicos nas plantas, alterando sua anatomia, fenologia e desenvolvimento (Marouelli et al, 2011), impactando assim sua produtividade e a qualidade do produto final. A cultura do milho, por exemplo, conforme a EMBRAPA (2006), requer muita água, entretanto pode ser cultivada com precipitações de 250 a 5000 mm por ano, necessitando, em média, de 600 mm. Por outro lado, no início do crescimento, em climas quentes e secos, o consumo de água é de 2,5 mm/dia, mas pode chegar a 5 - 7,5 mm/dia durante a formação e maturação. Se for muito quente e úmido, o consumo pode ser de 10 mm/dia.

Uma vez que a demanda hídrica não seja suprida, a falta de água prejudica todas as etapas do desenvolvimento da cultura. No milho, reduz o crescimento celular e massa da planta na fase vegetativa, afetando sua taxa de fotossíntese. Na produção de grãos, a menor massa da planta afeta a fotossíntese. Durante o florescimento, a escassez de água pode causar secagem dos estilos-estigmas, aborto dos embriões, problemas na meiose, interrupção da formação das espigas e morte dos grãos de pólen, levando a uma redução na colheita. Na fase de preenchimento dos grãos, a falta de água afeta o metabolismo da planta, fecha seus estômatos, e reduz a taxa de fotossíntese, produção de fotoassimilados e sua transferência para os grãos EMBRAPA(2006).

Dessa forma, a irrigação é um processo crucial para garantir o suprimento hídrico adequado para as plantas em diferentes condições climáticas e solos (OCDE/FAO, 2018), devendo ser realizada quando a escassez de água na planta prejudica significativamente suas funções fisiológicas, resultando em impacto no crescimento e na produção.

Existem diversos tipos de irrigação. Uma das formas mais comuns é a de superfície, que consiste em canalizar a água para o solo por meio de canais ou por meio de aspersão. A irrigação por aspersão é mais eficiente em termos de uso da água, pois permite que a água seja distribuída de forma mais uniforme no solo, reduzindo o desperdício e o risco de erosão. No entanto, a irrigação por aspersão é mais suscetível ao vento e à evaporação, o que pode afetar a eficiência da irrigação (OCDE/FAO, 2018).



Outro tipo de irrigação é a subterrânea, que consiste em colocar tubos sob o solo para distribuir a água diretamente nas raízes das plantas. Esse tipo de irrigação é menos suscetível ao vento e à evaporação, mas requer equipamentos e tecnologias mais sofisticados, o que pode ser um obstáculo para alguns agricultores (EMBRAPA, 2016).

Também há a irrigação por aspersão em nuvem, que consiste em distribuir a água no ar, criando uma nuvem de água que cai sobre as plantas. Essa é eficiente em termos de uso da água e pode ser usada em áreas de difícil acesso, mas requer equipamentos especiais e é suscetível a problemas de qualidade da água, como a presença de partículas sólidas (Agência Nacional de Águas, 2016).

Por fim, tem-se a irrigação por gotejamento, que consiste em distribuir a água diretamente nas raízes das plantas por meio de tubos perfurados, evitando umedecer áreas onde não há raízes de cultivo, como o espaço entre linhas de plantio. Esse tipo de irrigação é eficiente em termos de uso da água, pois permite uma distribuição precisa e evita o desperdício. No entanto, a instalação e a manutenção deste sistema podem ser caras e complexas (EMBRAPA, 2020).

Ressalta-se que irrigação excessiva pode levar ao excesso de nutrientes e ao comprometimento da disponibilidade hídrica, prejudicando a produção agrícola e afetando a biodiversidade local (OCDE/FAO, 2018). Por isso, a

A escolha do tipo de manejo de irrigação adequado garante o suprimento de água para as plantas, evitando o excesso, que pode acarretar o acúmulo de nutrientes e o comprometimento da disponibilidade hídrica (OCDE/FAO, 2018); ou a falta de água, que pode prejudicar as funções fisiológicas da planta de maneira significativa, resultando em um impacto negativo no seu crescimento e na produção. Esses fatores, somados geram, prejuízos econômicos e ambientais, prejudicam a produção agrícola e afetam a biodiversidade local (Gardner et al., 2017). Desse modo, a irrigação deve ser realizada de forma eficiente, levando em consideração as necessidades específicas de cada cultura e as condições climáticas e do solo (EMBRAPA, 2016), uma vez que a não observância desses fatores contribuem para o desperdício de aproximadamente 50% da água destinada ao manejo da irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016; MANTOVANI ET AL, 2006).

Sob este viés, áreas interdisciplinares surgem como forma de assegurar a irrigação de forma eficiente, como por exemplo, a agrometeorologia, que estuda os aspectos meteorológicos que afetam a prática agrícola (Lopez et al., 2018).

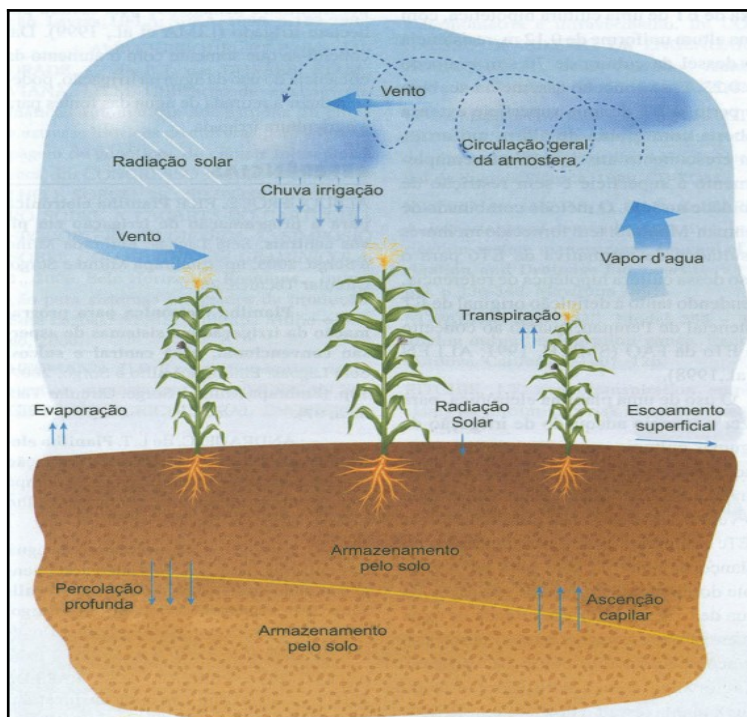
### 2.1.1. Agrometeorologia na Irrigação

A agrometeorologia é a ciência que estuda os fenômenos meteorológicos e os seus efeitos sobre as atividades agrícolas. Ela é de fundamental importância para a irrigação e atua com base nas condições climáticas locais (EMBRAPA, 2016; OCDE/FAO, 2018). Tais condições são analisadas por meio da coleta e análise de dados obtidos a partir de estações meteorológicas equipadas com sensores eletrônicos que captam determinados estímulos (como velocidade do vento, temperatura do ar, umidade do ar, e radiação solar) de forma precisa em um determinado intervalo de tempo. Essas variáveis climáticas são utilizadas para a quantificação da Evapotranspiração de determinada cultura, parâmetro importante para determinar o consumo de água pelas plantas e, portanto, nortear adequadamente o manejo de um sistema de irrigação, maximizando o crescimento, desenvolvimento e produção da cultura (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2011).

A quantificação da necessidade hídrica de determinada irrigação por meio do processo de Evapotranspiração configura-se por meio da análise da quantidade total de água que é transferida para a atmosfera pelo processo de transpiração das plantas e evaporação da água do solo (GOMIDE, et al., 2008). Além disso, é um elemento fundamental no equilíbrio hídrico dos ecossistemas e desempenha um papel importante no ciclo da água.

Vale ressaltar, também, que a Evapotranspiração está em função do tipo de cultura e estágio de desenvolvimento da mesma, uma vez que plantas de diferentes portes possuem necessidades hídricas distintas. Além disso, deve-se observar também a profundidade da raiz juntamente ao tipo de solo, que afeta a percolação e retenção da água (ARAGÃO, 1982; RAES et al., 2002). Não somente esses, mas as condições atmosféricas locais, como a temperatura e umidade relativa do ar, intensidade da luz solar, velocidade do vento e pressão atmosférica compreendem alguns fatores agrometeorológicos que se relacionam e influenciam o ciclo da água, como demonstrado na Figura 1 (GOMIDE, et al., 2008).

**Figura 1.** Ciclo da água através do solo, planta e atmosfera



(Fonte: Gomide, *et al.*, 2008, p.12)

Sob este aspectos, destacam-se os seguintes fatores:

- A. Radiação solar, usada no processo de fotossíntese, transpiração e aquecimento da planta, de forma a aquecer também o ar ao entorno da mesma.
- B. Temperatura do ar, que aumenta o processo de transpiração da planta e a capacidade de retenção de umidade do ar.
- C. Umidade relativa do ar, de forma que, quanto maior, menor será a necessidade de transpiração da planta, e menor será a demanda hídrica.
- D. Vento, que por meio de sua circulação, pode remover a camada de ar úmida e aquecida que se encontra próxima a planta. O vento em maior intensidade desestabiliza a perda de água pela transpiração, aumentando-a.

Já a pressão atmosférica é a força que o ar exerce sobre a superfície da terra, e se comporta de modo que, quanto maior a altitude de um relevo, menor será a pressão atmosférica, uma vez que a gravidade mantém os gases mais próximos de uma altitude à nível do mar. Dessa forma, se relaciona com a agitação das moléculas de ar, de modo que quanto maior a temperatura, mais as moléculas de ar se afastam, diminuindo a pressão do ar (Pena, 2023).

Por meio desses fatores, é possível calcular a Evapotranspiração de Referência

(ET<sub>o</sub>), que serve como base para a estimativa da Evaporação da Cultura (ET<sub>c</sub>), especificando a demanda de água específica para cada cultura, levando em consideração seus ciclos de desenvolvimento, tornando, assim, possível planejar a irrigação de forma mais eficiente (ALLEN et al., 1998).

#### 2.1.1.1. Determinação Da Evapotranspiração

Para determinar a E<sub>tc</sub> (evapotranspiração específica de uma cultura), é necessário primeiro determinar a E<sub>to</sub> (evapotranspiração de referência), que é a quantidade de água que uma cultura consome por meio da transpiração e da evaporação em condições ideais de crescimento (SMITH, 2003). A E<sub>to</sub> é uma medida padrão que é usada como um ponto de referência para comparar a demanda hídrica das diferentes culturas (ALLEN et al., 1998).

Há diversos métodos para se determinar a Evapotranspiração de Referência (E<sub>to</sub>), todavia, o método que melhor se enquadra consiste na equação desenvolvida pelos cientistas Penman e Monteith em 1948, constante do Boletim FAO 56, "*Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*", publicado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) (ALLEN et al., 1998).

O método Penman-Monteith é reconhecido como o mais adequado para estimar a E<sub>to</sub> e é utilizado como padrão há três décadas. Além de representar a evapotranspiração de maneira coerente, ele se baseia em quase todos os elementos meteorológicos medidos em estações superficiais, como a radiação solar global (R<sub>n</sub>), a temperatura do ar (T), a umidade relativa do ar (UR), a velocidade do vento (u<sub>2</sub>), a pressão atmosférica (p) e a pressão de vapor de saturação (e<sub>s</sub>), obtidos em estações meteorológicas de superfície (SMITH, 2003).

Tal equação é compreendida como a mais precisa em uma condição padrão de cobertura vegetal com características de estágio fixas ao decorrer do ano, sempre verde e sem restrições hídricas e pode ser dada por:

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

Em que :

- *ET<sub>o</sub>* Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

- $\Delta$  Declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
- $R_n$  Saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );
- $G$  Densidade de fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );<sup>1</sup>
- $\gamma$  Coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
- $T$  Temperatura do ar a 2 metros de altura ( $^\circ\text{C}$ );
- $u_2$  Velocidade do vento a 2 metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );
- $e_s$  Pressão de vapor de saturação ( $\text{kPa}$ );
- $e_a$  Pressão parcial de vapor ( $\text{kPa}$ ).

Ao aferir os valores de " $R_n$ ", " $G$ ", " $u_2$ " e " $T$ ", necessita-se calcular os valores de " $\Delta$ ", " $\gamma$ ", " $e_s$ " e " $e_a$ ", como sugere Allen et al., 1998:

#### 1. $\Delta$ : Declividade da curva de pressão de vapor de saturação

Para calcular a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\Delta$ ), é necessário conhecer a temperatura ( $T$ ) e a pressão de vapor de saturação ( $e_s$ ). A temperatura pode ser aferida e a pressão de vapor de saturação pode ser estimada utilizando a seguinte fórmula:

$$e_s = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3}\right)}$$

Em que:

- $e_s$  Pressão de vapor de saturação ( $\text{kPa}$ )
- $e$  Constante matemática (2,71828)
- $T$  Temperatura do ar a 2 metros de altura ( $^\circ\text{C}$ );

Uma vez que os valores de  $T$  e  $e_s$  são conhecidos, a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\Delta$ ), pode ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T+237,3)^2}$$

Em que:

---

<sup>1</sup>Em função dos baixos valores de " $G$ ", normalmente aferidos em escala diária, sua influência pode ser considerada desprezível, sendo lícito atribuir " $G = 0$ ", quando não houver medições disponíveis (ALLEN et al., 1998).

- $\Delta$  Declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
- $e_s$  Pressão de vapor de saturação (kPa)
- $T$  temperatura média do ar, medida em graus Celsius

2.  $\gamma$ : Coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ );

Para calcular o coeficiente psicrométrico ( $\gamma$ ), é necessário conhecer a Pressão atmosférica local (kPa), que por sua vez, pode ser aferida. Por meio disso, o coeficiente psicrométrico pode ser dado por:

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} P_{atm}$$

Em que:

- $\gamma$  Coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );
- $P_{atm}$  Pressão atmosférica local (kPa)

3.  $e_a$ : Pressão parcial de vapor (kPa).

Para calcular a pressão parcial de vapor ( $e_a$ ), é necessário conhecer a umidade relativa do ar (UR) a pressão de vapor de saturação. Assim, o valor de ( $e_a$ ) pode ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$e_a = \frac{e_s UR}{100}$$

Em que:

- $e_a$  Pressão parcial de vapor (kPa).
- $e_s$  Pressão de vapor de saturação (kPa)
- $UR$  Umidade relativa do ar, medida em porcentagem

Esta equação é baseada em medidas diárias dos dados meteorológicos coletados. A evapotranspiração é uma função dinâmica e pode variar ao longo do dia, por isso, é recomendado utilizar médias diárias para obter um valor mais preciso. Portanto, os valores da temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, velocidade do vento e radiação solar, são suas respectivas médias diárias, obtidas através de medições feitas ao longo do dia.

Uma vez que  $ET_o$  é determinado, é possível calcular  $ET_c$  usando a seguinte fórmula:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

em que:

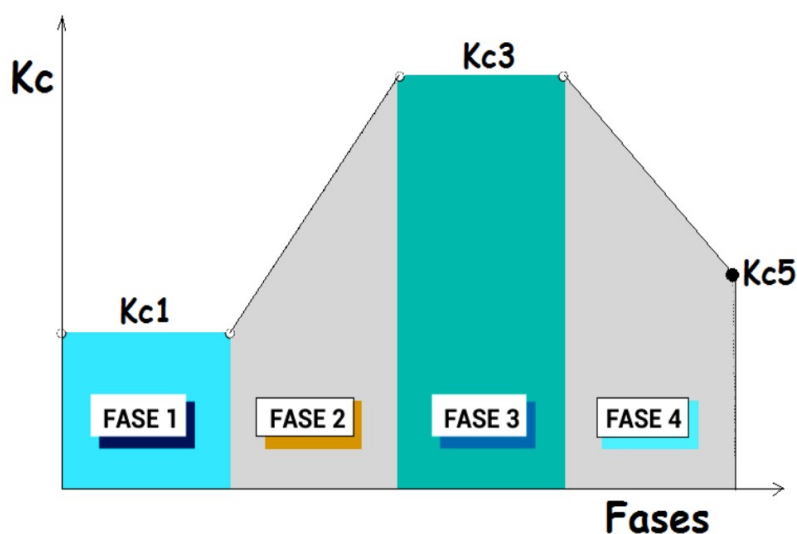
- $ET_c$  evapotranspiração da cultura do milho (mm/dia);
- $K_c$  coeficiente de crescimento para a cultura em questão.
- $ET_o$  evapotranspiração da cultura de referência (mm/ dia)

#### 2.1.1.2. Coeficiente de crescimento ( $K_c$ )

De acordo com a Embrapa (2016), o coeficiente de crescimento ( $K_c$ ) é um fator crucial no cálculo da evapotranspiração específica da cultura ( $ET_c$ ). Este parâmetro ajusta o valor da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) de acordo com as condições reais de crescimento da cultura. O  $K_c$  é determinado experimentalmente durante os estádios de desenvolvimento da cultura ou pode ser consultado em tabelas pré-determinadas (PEREIRA et al., 1991; Marouelli et al., 2011). Conforme a Embrapa (2016) e OCDE/FAO (2018) destacam, o valor de  $K_c$  pode variar dependendo do tipo de planta, solo, estágio de desenvolvimento da cultura, área foliar, condições climáticas e técnica de irrigação utilizada.

Segundo o método da FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977; Allen et al., 1998), há 4 fases no ciclo de desenvolvimento de uma cultura, cada uma com seu valor de  $K_c$ :

**Figura 2.** Evolução de  $K_c$  em culturas anuais, incluindo  $K_{c1}$ ,  $K_{c3}$  e  $K_{c5}$ .



(Fonte: Doorenbos e Pruitt, 1977; Allen et al., 1998)

1. Início (fase 1) - Plantio até estabelecimento inicial, com menos de 10% cobertura do solo.
2. Desenvolvimento vegetativo (fase 2) - 10% a 80% de cobertura do solo, finalizando com 70% a 80% do crescimento máximo da cultura.
3. Florescimento (fase 3) - Início do florescimento até o início da maturação.
4. Maturação (fase 4) - Maturação completa, ou ponto de colheita.

A duração total do ciclo de algumas culturas anuais e o percentual de duração para cada uma das quatro fases estão representados na Figura 3, baseada em dados médios obtidos em diversas localidades de acordo com Doorenbos e Pruitt (1977).

**Figura 3:** Duração ciclo e fases de culturas anuais. Baseado em dados globais.

Cultura	Duração total do ciclo (dias)	Percentual de duração de cada uma das 4 fases <sup>1</sup> (1 – 2 – 3 – 4)
Alface	75 a 140	(27-37-26-10)
Algodão	180 a 195	(16-27-31-26)
Amendoim	130 a 140	(22-26-34-18)
Batata	105 a 145	(21-25-33-21)
Berinjela	130 a 140	(22-32-30-16)
Beterraba	70 a 90	(25-35-28-12)
Cebola (seca)	150 a 210	(10-17-49-24)
Cenoura	100 a 150	(19-27-39-15)
Crucíferas <sup>2</sup>	80 a 95	(26-37-25-12)
Feijão vagem	75 a 90	(21-34-33-12)
Feijão seco	95 a 110	(16-25-40-19)
Girassol	125 a 130	(17-27-36-20)
Melão	120 a 160	(20-28-37-15)
Milho-doce	80 a 110	(23-29-37-11)
Milho grãos	125 a 180	(17-28-33-22)
Pepino	105 a 130	(19-28-38-15)
Rabanete	35 a 40	(20-27-40-13)
Tomate	135 a 180	(21-28-33-18)
Trigo	120 a 150	(13-20-43-24)

(Fonte: Doorenbos e Pruitt, 1977)

Algumas tabelas de valores de Kc para diferentes culturas e estádios de crescimento podem ser encontradas em fontes como Embrapa (2016) e Agência Nacional de Águas (2016). Já segundo método FAO, a seguinte tabela se enquadra para as condições climáticas brasileiras em culturas de crescimento anual:



**Figura 4:** Tabela de duração do ciclo e fases de culturas anuais. Baseado em dados globais.


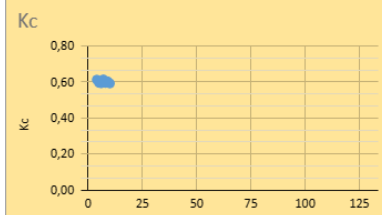
Cultura	Kc1	Kc3	Kc5	Altura máxima da cultura - h (m)
Amendoim		1,15	0,60	0,4
Ervilha		1,15 <sup>2</sup>	1,10–0,30 <sup>1</sup>	0,5
Feijão	0,40	1,05–1,15 <sup>1</sup>	0,90–0,35 <sup>1</sup>	0,4
Feijão-caupi		1,05	0,60–0,35 <sup>1</sup>	0,4
Grão-de-bico		1,00	0,35	0,4
Lentilha		1,10	0,30	0,5
Soja		1,15	0,50	0,5–1,0
Algodão		1,15–1,20	0,70–0,50	1,2–1,5
Girassol		1,00–1,15 <sup>3</sup>	0,35	2,0
Mamona		1,15	0,55	2,0
Arroz	1,05	1,20	0,90–0,60	1,0
Aveia		1,15	0,25	1,0
Cevada		1,15	0,25	1,0
Milheto		1,00	0,30	1,5
Milho		1,20	0,60–0,35 <sup>4</sup>	2,0
Sorgo		1,00–1,10	0,55	1,0–2,0
Trigo		1,15	0,25–0,40 <sup>5</sup>	1,0
Cana-de-açúcar	0,40	1,25	0,75	3,0

(Fonte: Doorenbos e Pruitt, 1977)

Essa tabela apresenta os valores de Kc para diferentes culturas anuais, como milho, soja e algodão, em diferentes estádios de desenvolvimento, desde o plantio até a maturação, bem como suas respectivas durações. As culturas anuais são aquelas que são cultivadas e colhidas em um período de um ano, sendo replantadas a cada safra. (EMBRAPA, 2016)

Essas tabelas apresentadas são úteis para ajudar a determinar os valores de Kc apropriados para diferentes culturas em diferentes estádios de desenvolvimento. De acordo com estudos mencionados por Doorenbos e Pruitt (1977) e Allen et al. (1998), os valores de Kc3 e Kc5 na figura 4 são indicativos das condições climáticas específicas para o ambiente subúmido, com umidade relativa mínima de 45% e velocidade média de vento moderada de 2 m s<sup>-1</sup>. É importante levar em consideração que o coeficiente de cultura (Kc) tem um impacto significativo no desenvolvimento e rendimento das culturas anuais, sendo necessário selecionar valores adequados de acordo com as condições climáticas de cada região. Nesse sentido, Albuquerque e Coelho propõem uma planilha de adaptação do Kc ao clima e especificidades da cultura, permitindo uma obtenção do valor preciso para o mesmo:

**Figura 5.** Planilha FAO para Kc para culturas anuais no Brasil.

Kc						Coeficiente de Cultura (Kc FAO56) para as condições brasileiras		Embrapa Milho e Sorgo	
3145059	NOVA PORTEIRINHA/MINAS GE	lat -15,8022	long -43,302551			06/02/2023			
Passo 1. Caracterize o plantio						Passo 2. Caracterize o local e clima			
Cultura:	Soja	Plantio direto na palha?	<input type="checkbox"/>	Turno de rega na fase inicial (dias):	5	MUNICÍPIO/UF			
Data do Plantio:	05/01/2023	Prof. de plantio (Z <sub>0</sub> , cm):	5	Prof. máx. efetiva raiz (Z <sub>max</sub> , cm):	40	NOVA PORTEIRINHA/MINAS GERAIS			
Duração do ciclo (dias):	130	Divisão equitativa das fases?	<input checked="" type="checkbox"/>			Latitude Local:			
						Longitude Local:			
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Total		ET <sub>0</sub> prevalente na fase 1	
Duração (%)	25	25	25	25		100		3. Alta demanda (5.0 < ET <sub>0</sub> < 7.5 mm/dia)	
Duração (dias)	33	33	33	31		130			
Kc (culturas genéricas)									
Kc INICIAL	0,601251603		0,601251603	1,09	1,09	0,44			
Kc FINAL			1,09		0,44				

(Fonte: Albuquerque e Coelho, 2021)

Uma vez definidos os valores de Kc e ET<sub>0</sub> e mensurado o valor de ET<sub>c</sub>, tem-se a demanda hídrica da cultura, permitindo determinar o volume de água necessário à irrigação e, posteriormente, o tempo necessário para tal, definindo o turno da rega.

#### 2.1.1.3. Determinação do volume de água a ser irrigado

Dentre os métodos de manejo da irrigação, existem aqueles onde seus critérios são baseados na estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), ou nas características físico-hídricas do solo com uso de sensores ou equipamentos como o tensiômetro, ou ainda considerando o uso sensores de solo em conjunto com algum método de estimativa da evapotranspiração de referência (Albuquerque, Resende, 2002). Neste caso, o manejo é baseado na estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>).

Dentre os métodos de estimativa de volume de água para a irrigação pesquisados, a expressão fornecida por Marouelli et al (1996) é a que mais se adequa ao cenário particular de estudo, uma vez que considera: valores de área molhada pelos emissores; área sombreada, que é a porção do solo abrangida pela copa da planta; e o espaçamento entre linhas e plantas. Considerá-los é importante quando não se pode realizar a estimativa do Kc experimentalmente em campo, em razão da criteriosa análise de solo necessária, o que implica consultá-lo em outras fontes e desconsiderar fatores particulares da cultura do estudo em questão.

Esta expressão considera o fato do gotejamento fornecer uma área molhada menor que a área total da cultura, o que implica em menor quantidade de água evaporada da superfície do solo. Para estes sistemas, o ideal seria estimar, separadamente, a quantidade de água transpirada pelas plantas e a quantidade evaporada pelo solo. Isto, entretanto, não é prático, e para contornar a dificuldade surgiram conceitos de fração de área molhada e de área sombreada, para ajustar as necessidades hídricas estimadas pelos métodos tradicionais, às condições de microirrigação.

Conforme Marouelli et al, estima-se o volume de água diário por planta a partir da seguinte expressão:

$$V = ETo[a + 0,15(1 - a)] \frac{As}{Cu} Kc$$

Em que:

- $V$  Volume aplicado por planta, em litros/dia;
- $ETo$  Evapotranspiração do cultivo de referência, em mm/dia;
- $a$  Fração da área molhada, em decimais;
- $As$  Área sombreada, em m<sup>2</sup> ;
- $Cu$  Coeficiente de uniformidade de aplicação, em decimais;
- $Kc$  Coeficiente de cultura, adimensional;

**Fração da área molhada (a):** A fração da área molhada é calculada através da razão entre a área molhada ( $A_m$ ), e a área total por planta, em função do espaçamento da cultura ( $A_{esp}$ ). Para calcular a área molhada ( $A_m$ ) de um emissor, é necessário conhecer o seu raio molhado ( $R$ ). A área molhada é determinada pela equação  $\pi R^2$ , em que  $\pi$  é a constante matemática pi. Já a porcentagem de cobertura da área entre as plantas ( $a$ ), divide-se a área molhada pelo espaço total entre as plantas, que pode ser obtido multiplicando o espaço entre linhas pela distância entre plantas.

Uma vez conhecidos os valores de  $A_m$  e  $A_{esp}$ , a fração da área molhada pode ser dada por:

$$a = \frac{A_m}{A_{esp}}$$

**Área sombreada (AS):** Representa a área de projeção individual da copa da planta, com o sol à pino (meio dia), estando em função da idade da planta.

**Coeficiente de uniformidade (Cu):** O coeficiente de uniformidade de aplicação pode ser determinado no próprio local, considerando as características de cada instalação. No entanto, na irrigação localizada, a eficiência de aplicação pode chegar a 90%. O coeficiente de uniformidade abaixo de 85% pode denunciar um sistema com problemas de manejo. Quanto menor for seu valor, mais volume de água deve ser aplicado para compensar a ineficiência do sistema, elevando-se o volume de água por planta, enfatizando a importância da manutenção do sistema para evitar gastos hídricos desnecessários.

#### 2.1.1.4. Determinação do tempo de irrigação

Tendo conhecimento do volume de água a ser irrigado por planta diariamente, da quantidade de gotejador por planta e da vazão, em litros por hora, de cada gotejador, é possível estimar o tempo de irrigação necessário para atingir o volume de água diário adequado por planta, por meio do cálculo (Pereira et al, 2014):

$$Ti = \frac{n \cdot q}{V}$$

Em que:

- Ti      Tempo de irrigação
- n      Quantidade de gotejador por planta
- q      Vazão, em l/h, de cada gotejador
- V      Volume de água necessário por planta, por dia.

A compreensão desse cálculo é crucial para alcançar uma agricultura mais eficiente e sustentável, e a evolução constante das técnicas de irrigação desempenha um papel fundamental nesse objetivo.

## 2.2. Agricultura e Sua Evolução

A agricultura é uma prática econômica que passou por transformações significativas ao longo do tempo, com a implementação de novas tecnologias que revolucionaram o modelo agrícola. A agricultura 1.0 é marcada pela adoção da tração animal para a realização das atividades do campo, enquanto na agricultura 2.0, motores à combustão substituíram a tração animal. Na agricultura 3.0, houve uma maior precisão na produção graças às novas técnicas agrícolas e à implementação de tecnologias de georreferenciamento (LISBINSK, et al, 2020). Atualmente, a Agricultura 4.0 é sustentável e

marcada pelo uso da tecnologia, como sistemas digitais, equipamentos eletrônicos de coleta de dados, aplicações de IoT, aprendizado de máquina e Inteligência Artificial, que permitem uma maior eficiência e rentabilidade na produção (CAVICHIOLI; SILVA apud TU, 2017). Este desenvolvimento tecnológico da agricultura, juntamente com a noção de sustentabilidade, é crucial para o suprimento da demanda de alimentos para uma população que atingirá cerca de 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (BBC, 2022).

No contexto da produção de cana-de-açúcar, por exemplo, Lopez et al. (2018) destacam o papel da tecnologia no gerenciamento de recursos hídricos, denotando a importância do uso eficiente da água na irrigação. Além disso, Bernardo, Soares e Mantovani (2011) discutem o uso de técnicas de modelagem para otimizar o uso da água e minimizar perdas por evaporação em sistemas de irrigação por gotejamento, além de otimizar e rentabilizar a produção no campo, garantindo maior produtividade em menor área de produção e menor utilização de recursos como água e insumos químicos (Ribeiro, et al, 2019). Ademais, a utilização de tecnologias de georreferenciamento e sistemas de informatização das atividades agrícolas, como mencionado por Cavichioli e Silva (apud TU, 2017), podem contribuir para a maximização dessa produção.

Nesse aspecto, o uso da IoT se torna ainda mais relevante, pois permite a integração de diversas tecnologias, como sensores eletrônicos, sistemas de aprendizado de máquina e inteligência artificial, que podem ser utilizados para otimizar a produção, garantir a qualidade dos produtos e reduzir o uso de recursos, como água e insumos químicos. Além disso, a IoT também pode ser utilizada para monitorar o clima e as condições do solo, possibilitando a adaptação das atividades agrícolas às mudanças de um determinado ambiente.

### **2.3. lot - Internet Of Things**

A Internet das Coisas (IoT) consiste na troca e manuseio de dados a partir de diferentes dispositivos tecnológicos, como sensores e aparelhos, proporcionando automação e tomada de decisões mais rápidas e precisas. De acordo com Diego Medeiros (2020), essa conexão de objetos e atividades do cotidiano com um meio computacional, proporciona uma automatização e melhoria de funções diárias e, conforme William Este (2019), a IoT tem ganhado destaque na economia, sendo utilizado por empresas, trabalhadores independentes e negócios de comércio e agricultura, visando maior produtividade, organização e lucro em sua produção. De acordo com o McKinsey Global Institute, estima-se que o uso da IoT na economia global causará um impacto de 4% a 11% do PIB mundial em 2025 . No cenário brasileiro, a estimativa é um impacto de 50 a 200

bilhões de dólares em 2025 (MEDEIROS, 2020). Nesse sentido, um conjunto de setores vem sendo favorecidos por tais métodos, desde os mais simples aos mais complexos meios de utilização de sensores e softwares.

### 2.3.1. Arquitetura IoT

A arquitetura IoT é um aspecto importante para a implementação eficiente de soluções de Internet das Coisas. De acordo com a pesquisa de William Este (2019), existem diversos modelos de arquitetura IoT, cada um com suas próprias características e espaços de aplicação.

Uma arquitetura IoT é composta por diversas camadas, que incluem sensores, dispositivos de coleta de dados, gateways, plataformas de nuvem e aplicativos. Cada camada tem uma função específica, que ajuda a permitir a comunicação segura e eficiente de dados entre os dispositivos e os sistemas de back-end.

De acordo com Este (2019), a escolha da arquitetura IoT adequada depende de diversos fatores, incluindo as necessidades específicas do usuário, o ambiente em que a solução será implementada e a disponibilidade de recursos tecnológicos. Além disso, é importante considerar a escalabilidade, segurança e flexibilidade da arquitetura ao longo do tempo.

Como resultado, a compreensão da arquitetura IoT é fundamental para a implementação bem-sucedida de soluções IoT em vários setores, como a saúde, agricultura, indústria e comércio.

## 2.4. Agricultura Familiar e Desafios Para a Implementação de Tecnologias

De acordo com a lei Nº 11.326, de 24 de julho de 2006, constitui-se agricultura familiar a prática de atividades agrícolas por meio da mão de obra familiar, visando a própria subsistência, cuja renda esteja relacionada com seu empreendimento rural e sua área não seja maior do que 4 (quatro) módulos fiscais. Módulo fiscal é uma unidade de medida territorial que varia de 4 a 110 hectares, levando em consideração :

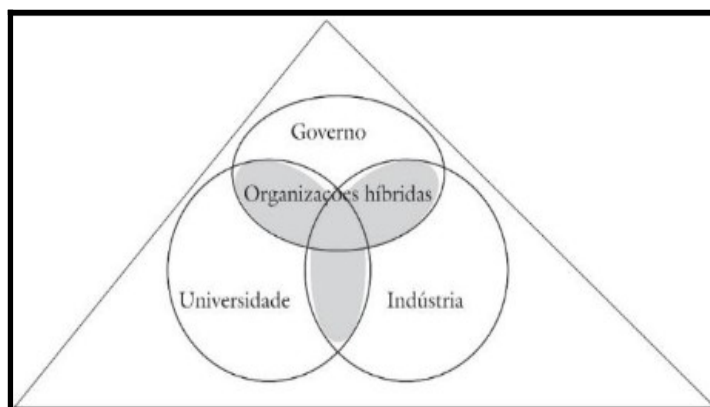
“[...] (a) o tipo de exploração predominante no município (hortifrutigranjeira, cultura permanente, cultura temporária, pecuária ou florestal); (b) a renda obtida no tipo de exploração predominante; (c) outras explorações existentes no município que,

embora não predominantes, sejam expressivas em função da renda ou da área utilizada; (d) o conceito de "propriedade familiar". A dimensão de um módulo fiscal varia de acordo com o município onde está localizada a propriedade.[...]" (EMBRAPA, 2022)

Apesar da democratização do acesso à educação, que permitiu, no Brasil, a especialização de mão de obra técnica no meio agrícola, ainda existem muitos trabalhadores sem conhecimento científico, sobretudo no âmbito da agricultura familiar. Neste caso, a experiência de anos de trabalho propiciou o acúmulo de conhecimentos resultantes da prática e da busca permanente de soluções para sua diversas situações, por meio de métodos empíricos, construídos e consagrados ao longo do tempo.

A falta de interesse na busca por conhecimento tecnológico por esse grupo é evidenciado em um trabalho acadêmico (NUNES, et al, 2020) cuja unidade de análise foram bolsistas da EMATER (Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural), do Rio Grande do Norte, que atuam a partir de conhecimentos diversificados na agricultura familiar. Quando 67 extensionistas foram questionados sobre quais conhecimentos seriam necessários para que eles executassem suas atividades, no sentido de gerar inovação e diversificação, 27% responderam conhecimentos sobre informática e administrativos, 22% conhecimentos práticos e teóricos, 16% sobre conhecimentos do local de atuação, e 8% disseram que já possuíam conhecimentos necessários.

Baseando-se na estrutura social da Tríplice Hélice (Figura 3), demonstra-se que universidades, empresas e governos devem estabelecer relações de forma que aqueles que integram o ciclo de qualificação profissional nessas instituições sejam, de fato, qualificados quando o governo estimula o conhecimento científico por meio de pesquisas, as universidades qualificam os estudantes profissionalmente para atuar no mercado atualizado tecnologicamente, e por fim, as empresas atuem como contratantes e gerem empregos, a fim de possibilitar a inovação (MOREIRA, et al, 20), uma vez que o nível de conhecimento está totalmente relacionado com a capacidade de inovação (CORREIA; MENDES; MARQUES, 2018).

**Figura 6.** Tríplice Hélice

(Fonte: Moreira et al., 2021, p.10)

Além disso, de acordo com a Embrapa (2015), a quantidade de usuários de internet da zona rural passou de 4% a 24% entre 2008 e 2014, mas apenas 5% dos produtores agrícolas utilizam a internet de forma profissional, uma vez que Brasil ainda não detém uma infraestrutura uniforme em todo território para a distribuição de internet (CAVICHIOLI; SILVA apud TU, 2017).



### 3. METODOLOGIA

Neste projeto, infere-se o processo de desenvolvimento em diferentes locais, durante o período do último bimestre de 2022 ao segundo trimestre de 2023. Considera-se uma metodologia transparente e flexível, para isso, optou-se por uma abordagem alinhada com os princípios do método adaptativo Kanban, que sugere a disposição dos processos em um quadro separados por seu *status*. Para efetivação da mesma, pretende-se a utilização da plataforma *Trello*, aplicativo de gestão de projetos desenvolvido em 2011 pela empresa Fog Creek Software.

Por meio dela, pretende-se fazer uso dos cartões "*A Fazer*", "*Em Andamento*", "*À Ser Aprovado*" e "*Feito*", de modo a se obter um panorama do que está sendo realizado, conforme descrito acima, alinhando a equipe ao que está sendo realizado em cada etapa de desenvolvimento no decorrer do projeto.

No tangente a estruturação, considera-se o modelo que propõe a arquitetura da solução IoT em três camadas: hardware, responsável pelo sensoramento dos dados; aplicação, responsável pelo tratamento dos dados; e comunicação, responsável pelo encaminhamento de informações entre essas camadas (ESTE apud Verma et al. 2019).

#### 3.1. Camada de Hardware

Nesta camada, será desenvolvida a estação para sensoramento e coleta dos valores meteorológicos. Os dados a serem coletados são definidos pelo cálculo de evapotranspiração da cultura, proposto por Penman–Monteith. A escolha dos materiais para coleta baseia-se na pesquisa realizada por AZEVEDO (2021) e sua aquisição dos mesmos será por meio de sites de compra conhecidos, como [www.casadarobotica.com](http://www.casadarobotica.com) e [www.mercadolivre.com.br](http://www.mercadolivre.com.br), com recursos provenientes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - Campus Guanambi e dos alunos envolvidos.

##### 3.1.1. Materiais

Seguindo o cálculo de Monteith, serão utilizados valores de temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar e velocidade do vento.

Para a estimativa da temperatura e umidade relativa considera-se o sensor DHT22 (Imagem 1).

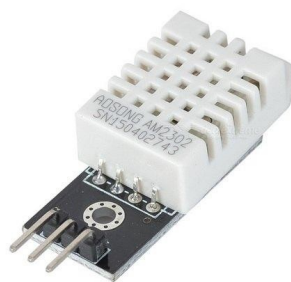


Imagem 1 - Sensor DHT22

O sensor DHT22 se sobressai levando em conta sua faixa operacional, conseguindo realizar a medição em ambientes com umidade relativa próximo à 0% (APÊNDICE B), cenário comum nos locais de testes.

Para a pressão atmosférica, o BMP 280 (Imagem 2) apresenta-se como um sensor de pressão barométrica absoluta capaz de produzir dados com extrema precisão e baixa taxa de ruído (APÊNDICE C), justificando, assim, sua escolha.

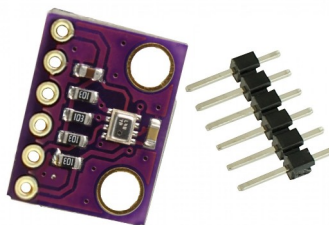


Imagem 2 - Sensor BMP280

No que se relaciona ao nível de radiação solar, optara-se pelo sensor Temt6000 (Imagem 3). O mesmo se destaca na relação entre preço e desempenho (APÊNDICE D), caracterizando um custo benefício relevante.

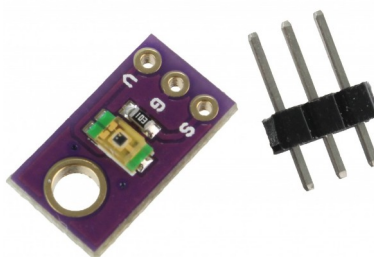


Imagem 3 - Sensor Temt6000

Para a medição de velocidade do vento, será confeccionado um anemômetro

caseiro. Para tal será utilizado um Reed Switch (Imagem 4), interruptor eletromecânico operado por um campo magnético aplicado. Este campo se efetuará na ação de um ímã posicionado na parte rotativa do anemômetro, assim, cada rotação fará com que as lâminas deste sensor se magnetizem, ativando o interruptor, que gerará um pulso para o módulo controlador. Através do intervalo entre a pulsagem calcular-se-á a velocidade do vento, convertida em metros por segundo (m/s) e armazenada no microcontrolador.



Imagem 4 - Reed switch

Para integração e controle dos sensores do circuito, fora escolhido o ESP32 (Imagem 5), um microcontrolador de baixo custo, multifuncional e de alta performance. O mesmo possui 4kb de memória flash, 2 microprocessadores XTensa 32bits. Além disso, conta também com comunicação sem fio por meio dos módulos Wifi e Bluetooth.



Imagem 5 - ESP32

Conforme os materiais escolhidos, a Tabela 1 elenca-os de forma sucinta.

**Tabela 1:** Custo total dos materiais

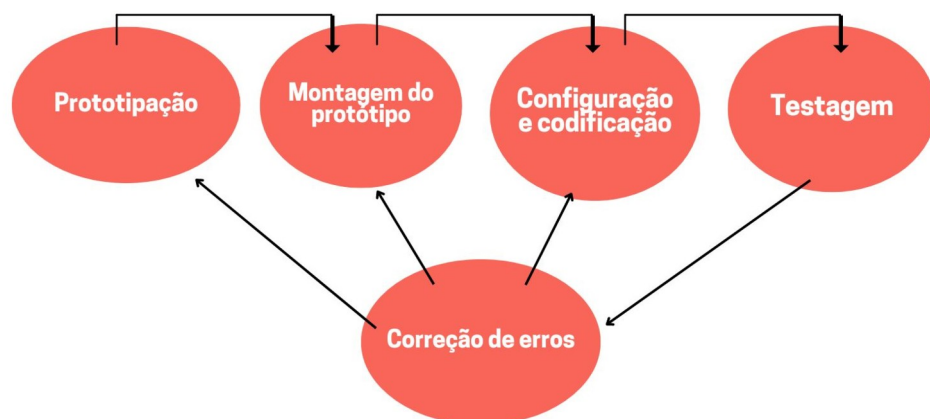
<b>Materiais</b>	<b>Função</b>	<b>Preço (R\$)</b>
Temt6000	Sensor de radiação solar	11,00
BMP280	Sensor de pressão atmosférica	15,00
DHT22	Sensor de temperatura e umidade relativa	45,00
REED SWITCH	Medição da velocidade do vento.	8,00
ESP 32 NODEMCU	Microcontrolador	55,00

<b>Preço Total (R\$)</b>	134,00
--------------------------	--------

Fonte: Autoria própria (2022)

### 3.1.2. Desenvolvimento

Após a escolha dos sensores, será iniciada a fase de desenvolvimento e montagem do *hardware*, constituindo-se das etapas voltadas desde o projeto do circuito até a testagem da coleta de dados. O cumprimento das etapas deve ocorrer de forma cíclica, caso necessário, conforme descrito no esquema abaixo, sempre respeitando o sentido das setas. (Figura 7).

**Figura 7.** Esquema de etapas em ciclos

Fonte: Autoria própria (2022)

Para avaliação dos equipamentos, pretende-se a realização de testes de funcionamento com cada sensor de modo separado, a fim de se obter uma compreensão de sua utilização e coleta.

Após isso, será definido o circuito do projeto. Em seguida, será efetuada a montagem, que se constitui na construção física do circuito. A configuração dos mesmos será por meio da plataforma Arduino IDE, que será responsável pela construção do algoritmo. Dentre os procedimentos, é necessário a importação das bibliotecas dos respectivos sensores e microcontrolador, que contêm as funções prontas para serem usadas, e também a configuração do ESP32.

Com a construção do algoritmo, visa-se basicamente ordenar as funções de coletas de dados em fluxo, atuando em *loop*, mas em um intervalo de tempo determinado. Depois de coletados, os dados serão tratados, ou seja, convertidos em unidades de medidas específicas para cada valor.

Para averiguação do processo de transmissão e consulta dos dados coletados pela estação, serão realizados testes que consistirão no acompanhamento da coleta dos valores meteorológicos, com a visualização dos dados em um dispositivo de saída. Os testes terão suporte técnico de indivíduos especializados na área de desenvolvimento e pesquisa norteados pelo tema do projeto, juntamente com o professor orientador. Deste modo, esta etapa ocorrerá inicialmente no espaço do IF Baiano Campus Guanambi, em áreas não necessariamente agrícolas.

Após a verificação do comportamento dos sensores e do tratamento das informações coletadas, analisar-se-á o quantitativo de confiabilidade da estação, por meio de um comparativo da mesma com a estação meteorológica profissional presente no IF Baiano Campus Guanambi, ambas atuando simultaneamente e em condições iguais. Com essa referência, é possível calibrar os sensores e identificar erros nas equações que tratam os valores climáticos.

O local de aplicação do protótipo será com base na acessibilidade e conexão com a internet, inferindo-se inicialmente na zona rural com área de prática agrícola com cultura de milho, de  $x \text{ m}^2$ , localizada no município de Pilões - BA, cuja região apresenta clima marcado por chuvas na estação do verão e seca no período do inverno.

Por fim, caso erros sejam identificados nas etapas anteriores, retorna-se à etapa de onde provém o problema, visando o desenvolvimento de uma possível solução, e prosseguindo para a próxima etapa.

### 3.2. Camada de Aplicação

Visando-se a interação com o cliente, a camada de aplicação é a responsável por permitir o fornecimento de recursos do software ao mesmo. Deste modo, pretende-se o desenvolvimento de um sistema web responsivo, aplicado na ideia de um mecanismo de gerência entre transferência e conexão entre arquivos digitais na internet, via links, assumindo, assim, o papel de um agente funcional em uma página dinâmica (SANTOS, 2018).

#### 3.2.1. Diagramação, Prototipagem e Codificação da Plataforma

Anterior ao processo de codificação, é preciso documentar o processo de criação e análise da plataforma, ao elencar os requisitos da mesma. Os requisitos norteiam as regras de negócio e demais funcionalidades que o sistema deve fornecer. Em seguida, há a diagramação, que consiste em representar com o diagrama de classes, a estrutura de classes e objetos, e a demonstrar previamente a interação do usuário com as funcionalidades do sistema, com o diagrama de casos de uso.

Em seguida, ocorrerá a prototipação, para é demonstrar o produto de forma compreensível ao usuário, direcionando esteticamente o desenvolvedor em relação à como o projeto irá dispor de suas funcionalidades na tela, além de guiar um desenvolvimento à uma melhor experiência de usuário. Para tal, permeia-se o uso da plataforma online de prototipagem e design *Figma*, com intuito de se obter um modelo de média fidelidade.

No tangível à codificação, considera-se o uso das ferramentas VS Code e Github. A primeira, desenvolvida pela Microsoft, é um editor de código-fonte para Windows, Linux e macOS, em que há suporte para depuração, realce sintática, complementação inteligente de código, trechos e refatoração de código. Além de contar com inúmeras extensões que facilitam o desenvolvimento de software. Já o GitHub é uma plataforma de hospedagem de código-fonte e arquivos que dispõe de controle de versão usando o Git. Por meio dela, os desenvolvedores podem trabalhar simultaneamente no projeto, com diversas variações do mesmo arquivo (*branches*), que, posteriormente, podem ser mescladas em um processo chamado "*merge*", unificando-as em uma só.

Por fim, para codificação da plataforma web, foi escolhido o framework Flet, com uso da linguagem de programação de alto nível Python, para definição e orientação a objeto dentro do framework.

### 3.3. Camada de Middleware (Comunicação)

Fazendo-se necessário uma análise massiva de dados em tempo real, a estrutura

proposta estabelece-se sobre uma camada central, proporcionando a comunicação entre os sensores (camada de hardware) e a interface (camada de aplicação) (ESTE apud Verma et al. 2019). Para isso, considerou-se o uso de uma ferramenta *web service* que operasse no modelo *realtime* com banco de dados.

Enquadrando-se nestas exigências necessárias, admitiu-se a plataforma móvel desenvolvida pela Google, Firebase. Criada em 2011, a mesma consiste em um conjunto gratuito de serviços de hospedagem diversos, como banco de dados realtime *noSQL* – com armazenamento em forma de árvores ou documento JSON – sistema de autenticação e outros mecanismos de segurança, envio de arquivos etc. Ressalta-se ainda a atuação do mesmo como serviço *API REST*, com protocolo *HTTPS* embutido, o que valida ainda mais a escolha do mesmo como web service.

Por meio desses recursos, almeja-se promover a comunicação entre as camadas hardware x aplicação de forma rápida, segura e eficaz, utilizando o Firebase para armazenamento dos dados coletados pelos sensores permitindo que a aplicação acesse-os.

#### **4. RESULTADOS ESPERADOS**

Espera-se utilizar dos meios desenvolvidos para que seja disposto, de maneira efetiva, uma forma de reduzir o consumo de água e energia no meio agrícola, uma vez que através de um melhor gerenciamento dos recursos hídricos, apresente-se uma maior eficiência no aproveitamento hídrico na irrigação. Essa redução se dará através da implementação prática da estação meteorológica, a qual será experimentada em locais de atividade agrícola onde se faz necessário o controle de irrigação, tendo seu período de atividade uma duração de pelo menos 20 dias de testes.

Durante este tempo, espera-se que a estação seja capaz de mensurar com fidelidade as variáveis meteorológicas, para que efetue-se o processo de coleta de dados relacionados ao consumo de água. Assim, almeja-se que a estação, juntamente ao sistema web, constituam uma ferramenta auxiliar no manejo da irrigação, em que o sistema de monitoramento seja capaz de mensurar o tempo diário ideal de irrigação para o produtor, com base nos dados climatológicos captados diariamente.

Também se torna fundamental a realização de um comparativo entre os períodos em que a irrigação era praticada da forma convencional, e posteriormente, com a utilização da estação e sistema de monitoramento, a fim de verificar diferenças no gasto de energia e água.



## 5. CRONOGRAMA

**Tabela 2:** Cronograma de atividades Restantes

<b>Atividade</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>
Construção da camada de hardware	<b>X</b>					
Desenvolvimento da camada de aplicação	<b>X</b>	<b>X</b>				
Implementação da estação e sistema no ambiente.		<b>X</b>				
Apresentação na Feira de ciências		<b>X</b>				
Pesquisa de campo			<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Documentação Final					<b>X</b>	<b>X</b>
Apresentação Final						<b>X</b>

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Paulo Emílio Pereira de; COELHO, Alves Enilda. **Planilha para obtenção de coeficiente de cultura(Kc) para culturas de ciclo anual, segundo método FAO, para as condições climáticas brasileiras**. EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, novembro de 2021. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228371/1/COT-254-Planilha-obtencao-coeficiente-de-cultura.pdf>

Agência Nacional de Águas. **MUDANÇAS CLIMÁTICAS E RECURSOS HÍDRICOS**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-soe/mudancas-climaticas/mudanca-climatica-e-recursos-hidricos-2013-avaliacoes-e-diretrizes-para-adaptacao/mudancas-climaticas-e-recursos-hidricos-ana-2016.pdf>

ALLEN, R.G. et al. **Coeficiente de cultura e evapotranspiração das culturas**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, p.297, 1998.

ARAGÃO, Octávio Pessoa. **Princípios da Evapotranspiração**, 1982. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/127258/principios-basicos-de-evapotranspiracao>

AZEVEDO, Angelo. **Desenvolvimento de dispositivos eletrônicos alternativos para auxílio no manejo da irrigação via IoT**. Piracicaba, 2021. Disponível em : [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-06102021-140537/publico/Angelo\\_Tiago\\_Azevedo\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-06102021-140537/publico/Angelo_Tiago_Azevedo_versao_revisada.pdf)

BBC Brasil - British Broadcasting Corporation no Brasil. **O dia em que a Terra vai atingir 8 bilhões de habitantes, segundo a ONU**, 11 julho de 2022 disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-62067710>

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7. Ed. Viçosa. MG, 2011. 611 p.

BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. **Estabelece métodos para formulação de políticas públicas direcionadas à agricultura familiar e a empreendimentos familiares rurais**. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11326.htm)  
Acesso em: 3 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; **Vendas externas do agronegócio somam US\$ 96,8 bilhões em 2019: milho, carnes e algodão foram destaque nas exportações**. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2020/01/vendas-externas-do-agronegocio-somam-us-96-8-bilhoes-em-2019>.  
Acesso em: 1 nov. 2022

BUAINAIN, Antônio. Et Al. **O mundo rural no Brasil do século 21. A formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília, 2014. disponível em: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/20109>

CARVALHO EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA: UMA ABORDAGEM

**ATUAL DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA**<sup>1</sup>. Disponível em:  
<https://www.scielo.br/j/pat/a/w3wxhhsgqVK67LPMhPJNQnq/?format=pdf&lang=pt>

CAVICHIOLO, Fabio; SILVA, Juliane. **Agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade do campo**. Interface Tecnológica, 18/12/2020. Disponível em:  
<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1068>

CHRISTOFIDIS, D. **Como obter a sustentabilidade dos recursos hídricos na agricultura irrigada?** Irrigação & Tecnologia Moderna, Brasília, DF, v. 64, p. 30-31, 2004.

CORREIA, Pedro; MENDES, Irineu; MARQUÊS, Nádia. **Gestão do conhecimento e da inovação. Determinantes da competitividade organizacional: um estudo de caso de uma empresa de consultoria tecnológica**. Revista estudo & Debate, Lajeado, v. 25, n. 1, p. 192-215, 2018. Disponível em:  
<http://www.meep.univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/view/1611>

CRUZ, José Carlos; FILHO, Israel A. Pereira; ALVARENGA, Ramon Costa; ET AL. **Manejo da cultura do Milho**. EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, Dezembro de 2006  
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/490419/1/Circ87.pdf>

ESPEJO, Shirley; JUNIOR, Oswaldo. Estação meteorológica automática baseada em internet das coisas (IoT). **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, [S.I.], p. 107-118, abr. 2020. ISSN 2359-232X. Disponível em:  
<https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/1730>. Acesso em: 21 dez. 2022.

EMBRAPA. **VII PLANO DIRETOR DA EMBRAPA**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217274/1/VII-PDE-2020.pdf>

EMBRAPA. **Módulos Fiscais**. Brasília, DF. 201-. Disponível em:  
<https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl/modulo-fiscal>

EMBRAPA. **Agricultura 4.0: a agricultura conectada**. 2016. Disponível em:  
<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/15894563/agricultura-40-a-agricultura-conectada#:~:text=O%20n%C3%BAmero%20de%20usu%C3%A1rios%20que,de%20alguma%20forma%20ao%20agroneg%C3%B3cio>.

ESTE, William. **INTERNET DAS COISAS: TECNOLOGIAS HABILITADORAS E WORKFLOW**. São Paulo, 2019. Disponível em:  
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-16092019-143107/publico/WillianReginatoEsteCorr19.pdf>

ESPEJO, Shirley Carla Chamby; HIDEO JUNIOR, Oswaldo Ando. **Estação meteorológica automática baseada em internet das coisas (IoT)**. Revista Brasileira de Iniciação Científica, [S.I.], p. 107-118, abr. 2020. ISSN 2359-232X. Disponível em:  
<https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/1730>. Acesso em: 02 nov. 2022.

FRANTHESCOLI, Theodoro Prevatto da Fonseca; HYAN, Garcia Mendonça; RAFAEL, Lima de Oliveira. **PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EM IOT**. Revista Interdisciplinar Pensamento Científico, 5(4), 2020. Disponível em: <http://reinpeconline.com.br/index.php/reinpec/article/view/488>

GARDNER, T. W.; JACKSON, R. B.; BALDOCCHI, D. D.; BLACK, D. A.; BLANKEN, R. E.; CAMPBELL, D. E.; BERRY, J. A.; et al. **Integrating crop models and remote**

**sensing data to refine global estimates of agricultural water use.** Environmental Research Letters, v. 12, n. 2, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5da9>.

GOMIDE, R. L.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de, **Agrometeorologia e otimização do uso da água na irrigação.** Belo Horizonte. set./out. 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/474146/agrometeorologia-e-otimizacao-do-uso-da-agua-na-irrigacao>

KAWAKAMI, N. **A 4ª Revolução tecnológica Aplicada à Agricultura Venturus Soluções.** 03dez. 2019. Disponível em: <https://venturus.org.br/a-4a-revolucao-tecnologica-aplicada-a-agricultura>. Acesso em: 28 set. 2022.

LAL, R. **Soil science and the carbon civilization.** Soil Science Society of America Journal, Sept. 2007. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2007.0001>

LIMA, J.E.F.w.; FERREIRA, RS.A.; CHRISTOFIDIS, D. **Uso da irrigação no Brasil: o estado das águas no Brasil.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 1999. CD-ROM.

LISBINSKI, Fernanda. Et Al. **PERSPECTIVAS E DESAFIOS DA AGRICULTURA 4.0 PARA O SETOR AGRÍCOLA.** CEPAN, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/218601/001122708.pdf?sequence=1>

LOPEZ, G; CORDEIRO,, P. S; ZERI, M. C. de Oliveira. M. F. B. (2018). **A review of irrigation and water use in sugarcane.** Agricultural Water Management, 200, 1-15. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.003>

MANTOVANI, E. C. BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e práticas.** Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

MARQUELLI, Waldir Aparecido; SILVA, Washington Luiz De Carvalho e; SILVA, Henoque Ribeiro. **MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM HORTALIÇAS.** EMBRAPA, Brasília, DF, 1996. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/irrigacao/artigos/MANEJO%20DA%20IRRIGACAO%20EM%20HORTALICAS.pdf>

MARQUELLI, Waldir Aparecido; OLIVEIRA, Áureo Silva de; COELHO, Eugênio Ferreira; ET AL. **Manejo da água de irrigação.** EMBRAPA, Brasília, DF, disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/915574/1/IRRIGACAOeFERTIRRIGACAOcap5.pdf>

MASSRUHÁ, Silvia; LEITE, Maria. **AGRO 4.0 – RUMO À AGRICULTURA DIGITAL** Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166203/1/PL-Agro4.0-JC-na-Escola.pdf>

MEDEIROS, Diego. **Abordagem do uso de redes de sensores sem fio em aplicações da Agricultura 4.0.** Niterói, RJ, 2020. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/16565/TCC%20Diego%20da%20Franca%20Medeiros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MOREIRA, Fábio; AMARAL, Marcos; LIMA, Zuliani. **Planejamento de um sistema de monitoramento de plantações para aplicação na agricultura familiar.** RECODAF - Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar v. 7, n. 1 2021.ISSN:

2448-0452. Disponível em:  
<https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/136/313>

NUNES, Emanuel; DE SÁ, Vinicius; SILVA, Vivian. **Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER): formação e conhecimentos para a agricultura familiar do Rio Grande do Norte. Redes**. Revista do Desenvolvimento Regional. 2020, 25(2). ISSN: 1414-7106. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=552064726023>

OCDE/FAO (2018). **OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas**. Publicaciones de la OCDE, París/Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018. disponível em: <https://www.fao.org/3/i9166es/i9166es.pdf>

PENA, Rodolfo F. Alves. **Pressão atmosférica: A pressão atmosférica sofre variações conforme as altitudes e as temperaturas**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/pressao-atmosferica.htm>

PEREIRA, João Batista Alves. **MANUAL PRÁTICO DE IRRIGAÇÃO**. EMATER-RIO, Niterói, RJ, fevereiro de 2014. Disponível em: [http://www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/irrigacao/MANUAL\\_PRATICO\\_DE\\_IRRIGACAO.pdf](http://www.espacodoagricultor.rj.gov.br/pdf/irrigacao/MANUAL_PRATICO_DE_IRRIGACAO.pdf)

PEREIRA, L.S. et al. **Evapotranspiração das culturas**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, p.297, 1991.

RAES, D. et al. **Evapotranspiração de referência**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, p.297, 2002.

RIBEIRO, J. G; MARINHO, D. Y; ESPINOSA, J. W. M. Agricultura 4.0: **Desafios À Produção De Alimentos E Inovações Tecnológicas**. Catalão, p. 1-7, ago. Acesso em: 28 de out. de 2022.

SMITH, M. **Cálculo dos parâmetros meteorológicos para o cálculo da evapotranspiração de referência**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, p.297, 2003.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Tabelas de sensores de temperatura

Tabela 2: Comparação dos sensores de temperatura

<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>Faixa operacional (°C)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Desempenho</b>
BME280	Bosch / Adafruit	-40 a 85	24,90 ~ 59,00	Excelente
BMP280	Bosch	-40 a 85	11,00 ~ 16,00	Excelente
BMP180	Bosch	-40 85	11,00 ~ 17,00	Excelente
DHT11	D-Robotics	0 a 50	14,00	Excelente
DHT22	D-Robotics	-40 a 80	50,00	Excelente
DS18B20	Dallas S.	-55 a 125	15,00	Excelente

Fonte: Baseado no autor AZEVEDO(2021).

### APÊNDICE B - Tabela de sensores de umidade relativa

Tabela 3: Comparação dos sensores para a medição de umidade relativa

<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>Faixa operacional (%)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Desemp enho</b>
BME280	Bosch/Adafruit	0-100	24,90 ~ 59,00	Excelente
DHT11	D-Robotics	10-90	12,90	Muito bom
DHT22	D-Robotics	0-100	34,90	Excelente
HR202	Ryndac	5-95	9,90	Péssimo
HTU21D	Meansurement	0-100	17,65	Excelente

Fonte : Baseado no autor AZEVEDO(2021).

### APÊNDICE C - Tabela de sensores de pressão atmosférica

Tabela 4 : Comparação dos sensores para a medição de pressão atmosférica

<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>Faixa operacional (hPa)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Desempenho</b>
BME280	Bosch/Adafruit	300 - 1100	24,90 ~ 59,00	Excelente
BMP280	Bosch	300 - 1100	11,00 ~ 16,00	Excelente
BMP180	Bosch	300 - 1100	11,00 ~ 17,00	Excelente

Fonte : Baseado no autor AZEVEDO(2021)

### APÊNDICE D - Tabela de sensores de radiação solar

Tabela 5: Comparação dos sensores para a medição da radiação solar

<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>espectro (nm)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Desempenho</b>
BH1750	ROHM	400 - 700	18,00 ~ 35,00	Excelente
TSL2561	TAOS	200 - 11- 00	50,00 ~ 100,00	Péssimo
CJMCU-3216	LSC	450 - 900	16,00	Excelente
GYML8511	Sparkfun	280 - 450	34,00 ~ 74,00	Excelente
SFH206K	Siemens	400 - 1100	33,00 ~ 45,00	Muito bom
OPT101	Texas Inst.	300 - 1100	8,00 ~ 13,00	Péssimo
BPW34	Vishay	430 - 1100	8,00 ~ 20,00	Péssimo
Temt6000	Vishay	390 - 700	11,00	Excelente

Fonte : Baseado no autor AZEVEDO(2021).