

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO
CAMPUS GUANAMBI

**AGROMET: SOLUÇÃO IOT PARA IRRIGAÇÃO COM MONITORAMENTO
CLIMÁTICO**

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

GUANAMBI-BA
2023

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

**AGROMET: SOLUÇÃO IOT PARA IRRIGAÇÃO COM MONITORAMENTO
CLIMÁTICO**

Projeto elaborado como requisito parcial de
nota nas disciplinas técnicas do curso
Informática para Internet.

Orientador | Professor: Woquiton Fernandes

GUANAMBI-BA
2023

RESUMO

No contexto da estruturação da sociedade internacional, a agricultura deflagra-se como um meio de sustentabilidade extremamente relevante em relação à constituição econômica de países emergentes. A prática desta pode ser considerada a atividade que mais consome água no mundo. Assim, em caso de mau uso e descontrole da irrigação, é notável a criação de problemas que vão de desencontro à sustentabilidade almejada no futuro, fator que é imprescindível para a garantia dos recursos necessários para a vida humana. Deste modo, o presente trabalho busca desenvolver uma estação meteorológica de pequeno porte para melhorar o processo de 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

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. Justificativa	6
2.1. A irrigação na prática da agricultura	6
2.1.1. Agrometeorologia na Irrigação	9
2.1.1.1. Determinação Da Evapotranspiração	11
2.1.1.2. Coeficiente de crescimento (Kc)	14
2.2. Agricultura e Sua Evolução	19
2.3. Iot - Internet Of Things	20
2.3.1. Arquitetura IoT	20
2.4. Agricultura Familiar e Desafios Para a Implementação de Tecnologias	21
3. METODOLOGIA	23
3.1.1. Materiais	23
3.1.2. Desenvolvimento	27
3.2. Validação	27
3.3. Camada de Aplicação	29
3.3.1. Diagramação, Prototipagem e Codificação da Plataforma	29
3.4. Camada de Middleware (Comunicação)	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. Temperatura	30
4.2. Umidade	32
4.3. Irradiância solar	34
4.4. Vento	35
4.5. Solução Desenvolvida	36
5. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICES	44
APÊNDICE A - Tabelas de sensores de temperatura	44
APÊNDICE B - Tabela de sensores de umidade relativa	44
APÊNDICE C - Tabela de sensores de pressão atmosférica	45
APÊNDICE D - Tabela de sensores de radiação solar	45

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, torna-se notória a valorização da PDI (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação). 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, visou-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, realizou-se o desenvolvimento de um sistema de manejo de irrigação capaz de mensurar a vazão de água necessária para irrigação, com base nos dados climatológicos coletados, por meio de uma estação meteorológica de pequeno porte, que foi construída. Neste processo, observou-se a atuação de fatores climatológicos sobre o processo de transpiração das plantas.

Por meio deste, reduzem-se 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. Justificativa

Uma das maiores fontes de preocupação em relação aos recursos naturais e biodiversidade tem sido o impacto da ação humana no clima e na disponibilidade de recursos, tendo em foco a água, que é recurso vital para a vida humana e o desenvolvimento da atividade agrícola, no clima e na disponibilidade de recursos naturais, como a água, recurso vital para a vida humana e a atividade agrícola.

É estimado que em média 70% da água potável do planeta é utilizada em prol de atividades de irrigação agrícolas, juntamente de 21% sendo utilizados em setores industriais e 9% consumido em área urbana (CHRISTOFIDIS, 1999). Em território nacional, a agricultura atua como o maior consumidor de água, onde, por volta de 18% do espaço total destinado ao cultivo é irrigado, que corresponde a cerca de 42% da produção total (CHRISTOFIDIS, 1999).

Em contrapartida, o uso ineficiente da água se retrata na agricultura por acarretar no desperdício de recursos hídricos e energéticos naturais. 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. Caso quente e úmido, o consumo atinge 10 mm/dia.

Em casos que a demanda hídrica não seja suprida, os danos e prejuízos pela falta de água ocorrem em todas as etapas do desenvolvimento de uma cultura, como no caso do milho. Neste caso, há a redução do 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. Todavia, a irrigação excessiva pode levar ao acúmulo exacerbado de nutrientes e ao comprometimento da disponibilidade hídrica, prejudicando a produção agrícola e afetando a biodiversidade local (OCDE/FAO, 2018).

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 eficiente quanto ao uso da água, pois permite que a mesma seja distribuída uniformemente no solo, reduzindo o desperdício e a erosão. No entanto, é mais suscetível ao vento e à evaporação, o que pode afetar a eficiência da irrigação (OCDE/FAO, 2018).

Outro método de irrigação utilizado é a subterrânea, que utiliza tubos abaixo do solo com a função de distribuir água diretamente nas raízes de plantas, tendo como vantagem o fato de não sofrer interferências de fatores como vento e à evaporação, todavia, esse método utiliza de aparelhos e equipamentos mais tecnológicos e avançados, o que dificulta seu acesso para alguns agricultores (EMBRAPA, 2016).

Há também o método de irrigação por aspersão em nuvem, que consiste em uma distribuição de água no ar, criando uma espécie de nuvem de água que realiza a irrigação do plantio. Esse é um método eficiente a respeito dos gastos de água. Porém, sua utilização requer cuidados com a qualidade da água, pois a presença de partículas sólidas pode prejudicar a irrigação. (Agência Nacional de Águas, 2016).

Por fim, tem-se a irrigação via gotejamento, que é o método de distribuição da água de forma direta nas raízes das plantas, através de tubos perfurados, evitando que o desperdício ao molhar áreas em que não existam raízes. O método por gotejamento é eficiente em termos econômicos, permitindo a distribuição mais eficiente da irrigação e evitando o desperdício. No entanto, a instalação e a manutenção deste sistema podem ser caras e trabalhosas(EMBRAPA, 2020).

A quantidade ideal de suprimento hídrico para uma cultura está relacionado com o modo de irrigação escolhido. Não apenas a escolha, mas o manuseio da irrigação deve ser feito de maneira eficiente, considerando as necessidades de cada cultura, condições climáticas e estado do solo (EMBRAPA, 2016). A não observância de uma escolha adequada e manejo de um método de irrigação contribuem para o desperdício de aproximadamente 50% da água destinada ao manejo da irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016; MANTOVANI et al., 2006). Ademais, ressalta-se que gastos excessivos causam acúmulo de nutrientes e a mal utilização da disponibilidade hídrica (OCDE/FAO, 2018); já o gasto indevido de água prejudica as funções ideológicas de uma planta, implicando negativamente em seu desenvolvimento e produção.

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. 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).

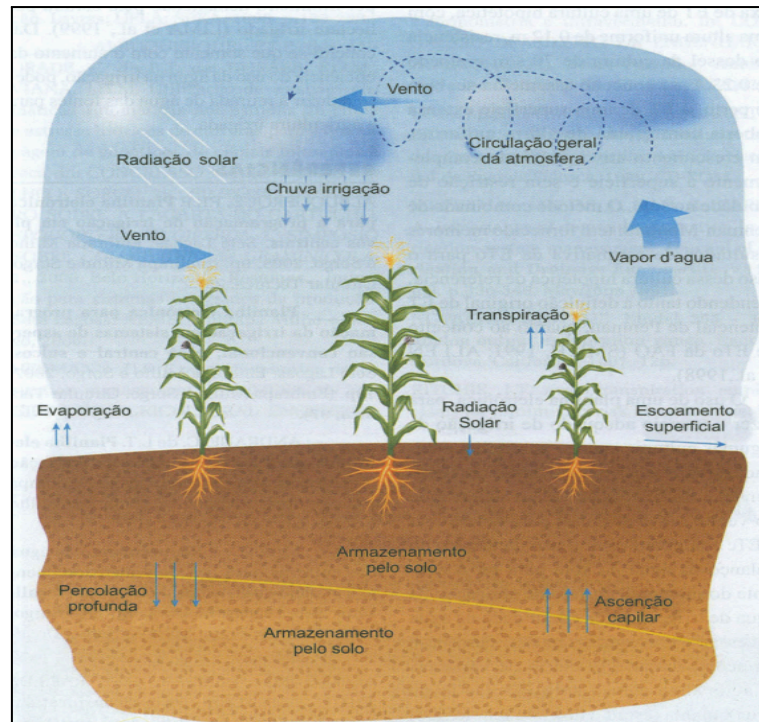
Sob este viés, áreas interdisciplinares surgem como forma de assegurar a irrigação de forma eficiente, como por exemplo, a agrometeorologia, que estuda os aspectos meteorológicos que afetam a prática agrícola (LOPEZ et al., 2018).

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 da irrigação é realizada por meio da análise da quantidade total de água que é transferida para a atmosfera pelos processos de transpiração das plantas e evaporação da água do solo, que por sua vez compreendem o que chamamos de Evapotranspiração (GOMIDE, et al., 2008). Ressalta-se que esses processos são fundamentais no equilíbrio hídrico dos ecossistemas e desempenham um papel importante no ciclo da água. A Evapotranspiração está em função do tipo e estágio de desenvolvimento da cultura, pois plantas de diferentes portes implicam 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 sua circulação, remove a camada de ar úmida e aquecida que fica 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).

Com estes fatores, calcula-se a Evapotranspiração de Referência (ET_o), que serve como base para a estimativa da Evaporação da Cultura (ET_c). Esta última especifica a

demanda de água para cada cultura, e considerando seus ciclos de desenvolvimento. Assim, é possível planejar a irrigação de forma mais eficiente (ALLEN et al., 1998).

2.1.1.1. Determinação Da Evapotranspiração

Para determinar a Etc (evapotranspiração específica de uma cultura), é necessário primeiro determinar a ETo (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 ETo é uma medida padrão que é usada como um ponto de referência para comparar a demanda hídrica das diferentes culturas (ALLEN et al., 1998).

Existem diversos métodos para a determinação da Evapotranspiração de Referência (ETo). O método Penman-Monteith é reconhecido como o mais adequado para estimar a ETo e é utilizado como padrão há três décadas. Esta equação foi 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).

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_n), a temperatura do ar (T), a umidade relativa do ar (UR), a velocidade do vento (u_2), a pressão atmosférica (p) e a pressão de vapor de saturação (e_s), 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:

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

Em que :

- ET_o Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});
- Δ 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 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$);¹
- γ 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 (m s^{-1});
- e_s Pressão de vapor de saturação (kPa);
- e_a Pressão parcial de vapor (kPa).

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

1. Δ : Declividade da curva de pressão de vapor de saturação

Para calcular a declividade da curva de pressão de vapor de saturação (Δ), 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 (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 (Δ), pode ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

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

Em que:

¹ 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).

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

Para calcular o coeficiente psicrométrico (γ), 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:

- γ 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:

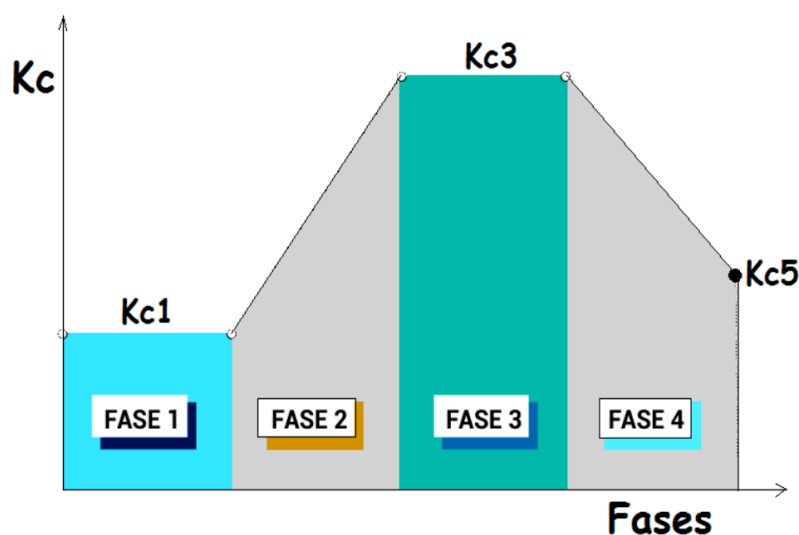
- ET_c evapotranspiração da cultura do milho (mm/dia);
- K_c coeficiente de crescimento para a cultura em questão.
- ET_o evapotranspiração da cultura de referência (mm/ dia)

2.1.1.2. Coeficiente de crescimento (K_c)

De acordo com a Embrapa (2016), o coeficiente de crescimento (K_c) é 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, 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 de ciclo e fases de culturas anuais. Baseado em dados globais.

Cultura	Duração total do ciclo (dias)	Percentual de duração de cada uma das 4 fases¹ (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)
Crucíferas²	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.


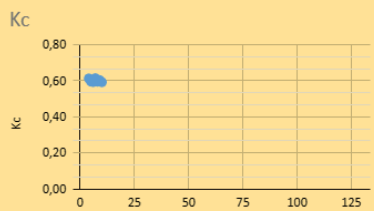
Cultura	Kc1	Kc3	Kc5	Altura máxima da cultura - h (m)
Amendoim		1,15	0,60	0,4
Ervilha		1,15 ²	1,10–0,30 ¹	0,5
Feijão	0,40	1,05–1,15 ¹	0,90–0,35 ¹	0,4
Feijão-caupi		1,05	0,60–0,35 ¹	0,4
Grão-de-bico		1,00	0,35	0,4
Lentilha		1,10	0,30	0,5
Soja		1,15	0,50	0,5–1,0
Algodão		1,15–1,20	0,70–0,50	1,2–1,5
Girassol		1,00–1,15 ³	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 ⁴	2,0
Sorgo		1,00–1,10	0,55	1,0–2,0
Trigo		1,15	0,25–0,40 ⁵	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⁻¹. 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		 Download	
Data do Plantio:	05/01/2023	Prof. de plantio (Z ₀ , cm):	5	Prof. máx. efetiva raiz (Z _{max} , 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 ₀ prevalente na fase 1	
Duração (%)	25	25	25	25		100		3. Alta demanda (5,0 < ET ₀ < 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			
Kc _{FINAL}	0,601251603	1,09	1,09	0,44	0,44				

(Fonte: Albuquerque e Coelho, 2021)

Uma vez definidos os valores de Kc e ET₀ e mensurado o valor de ET_c, 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_c), 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 em específico, o manejo é baseado na estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c).

Dentre os métodos de estimativa de volume de água para a irrigação, se observa que a expressão fornecida por Marouelli et al., (2000) se adequa ao sistema de irrigação localizado.

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

$$Vt = 1000 \frac{ETc \times TR \times Ai}{Ei}$$

Em que:

- Vt Volume total de água a ser aplicado por irrigação, em m³;
- ETc Evapotranspiração da cultura, em mm/dia;
- TR Turno de rega. Sendo $TR = 1$ e $TR = 0,5$, a área é regada 1 e 2 vezes ao dia, respectivamente;
- Ai Área a ser irrigada, em ha (hectare);
- Ei Eficiência de irrigação, em %;

Eficiência de irrigação (Ei): A eficiência de irrigação pode ser determinada no próprio local, considerando as características de cada instalação. Na irrigação localizada, a eficiência de aplicação pode chegar a 90%. Eficiência abaixo de 85% denuncia 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. Portanto, deve-se atentar à manutenção para evitar gastos hídricos desnecessários (MAROUELLI et. al., 2000).

2.1.1.4. Determinação do tempo de irrigação

Tendo conhecimento do volume de água a ser irrigado diariamente, é possível estimar o tempo de irrigação necessário para atingir o volume de água adequado por planta, por meio do seguinte cálculo (Marouelli et al., 2000):

$$Ti = 6 \frac{Vt \times Sl \times Sg}{Ai \times Vg}$$

Em que:

- Ti Tempo de irrigação;
- Sl Espaçamento entre linhas laterais, em m (metros);
- Sg Espaçamento entre gotejadores, em m;
- Vg Vazão, em l/h, de cada gotejador;
- Ai Área a ser irrigada, em ha (hectare);

2.2. Agricultura e Sua Evolução

Ao observar o processo de evolução da agricultura, nota-se que a implementação de novas tecnologias ou práticas inovadoras foram grandes responsáveis por causar transformações no modelo de produção agrícola. Podemos dividir esse processo em 4 períodos. O primeiro, a agricultura 1.0 é marcada pela adoção da tração animal para a realização das atividades do campo, enquanto na agricultura 2.0, os 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. Com isso, há propício para maior produtividade em menor área de produção e menos utilização de recursos como água e insumos (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 (Internet Of Things) se torna relevante ao permitir a integração de diversas tecnologias, como sensores eletrônicos, sistemas de aprendizado de máquina e inteligência artificial, que podem resultar em soluções capazes de serem utilizadas para otimizar a produção, garantir a qualidade dos produtos e reduzir o uso de água e insumos químicos.

2.3. Iot - Internet Of Things

A Internet das Coisas (IoT) é um modelo de informatização de tarefas que 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. 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 até 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 sua função, que é responsável por 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, como 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)

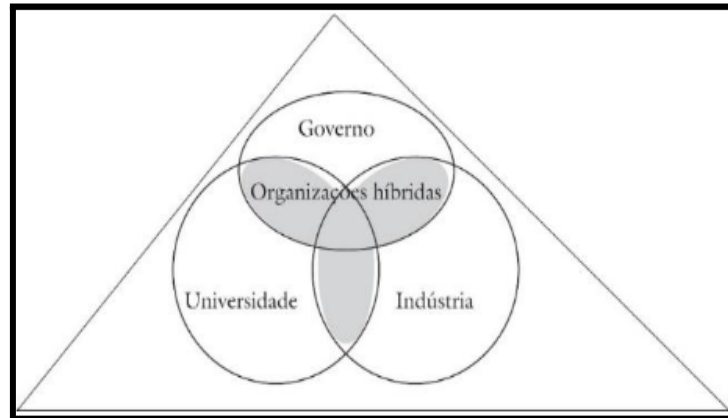
Apesar da democratização do acesso à educação, que permitiu, no Brasil, a especialização de mão de obra técnica no meio agrícola, ainda existem muitos trabalhadores sem conhecimento científico, sobretudo no âmbito da agricultura familiar. Neste caso, a experiência de anos de trabalho propiciou o acúmulo 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 Trílice 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 (CAVICHIOLO; SILVA apud TU, 2017).

3. METODOLOGIA

Neste projeto, considerou-se uma metodologia transparente e flexível. 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. Por meio dela, pretendia-se fazer uso dos cartões "A Fazer", "Em Andamento", "À Ser Aprovado" e "Feito", a fim de se obter um panorama do que estava sendo realizado, conforme descrito acima, alinhando a equipe ao que estava sendo realizado em cada etapa de desenvolvimento no decorrer do projeto.

No que diz respeito à estruturação, considerou-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, foi 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 a aquisição dos mesmos foi por meio dos sites de compra www.casadarobotica.com e www.eletrogate.com, 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, são utilizados valores de temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar e velocidade do vento.

Para a estimativa da temperatura e umidade relativa, temos o DHT22 (Imagem 1).

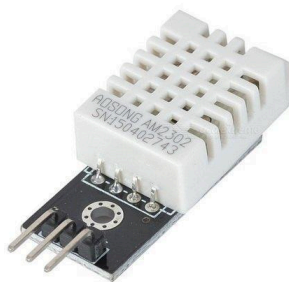


Imagem 1 - Sensor DHT22

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.

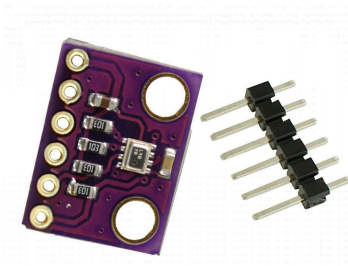


Imagem 2 - Sensor BMP280

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

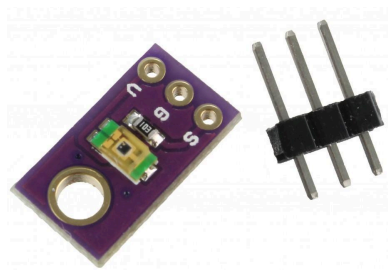


Imagem 3 - Sensor Temt6000

Para a medição da velocidade do vento, construiu-se um anemômetro caseiro utilizando-se dos materiais da imagem. Para tal, utilizou-se um Reed Switch (Imagem 4), interruptor eletromecânico operado por um campo magnético aplicado. Este campo aplica-se a partir 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 gera um pulso para o módulo controlador. Através do intervalo entre a pulsagem, se calcula a velocidade do vento, convertida em metros por segundo (m/s) e armazenada no microcontrolador.

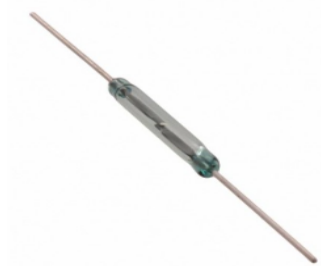


Imagem 4 - Reed switch

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.

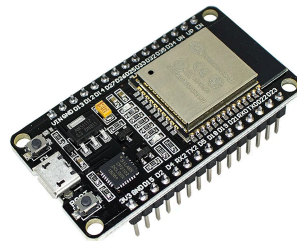


Imagem 5 - ESP32

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

Para alimentar a estação, construiu-se um circuito que carrega uma bateria de lítio através da geração de energia solar, conforme a imagem 6.

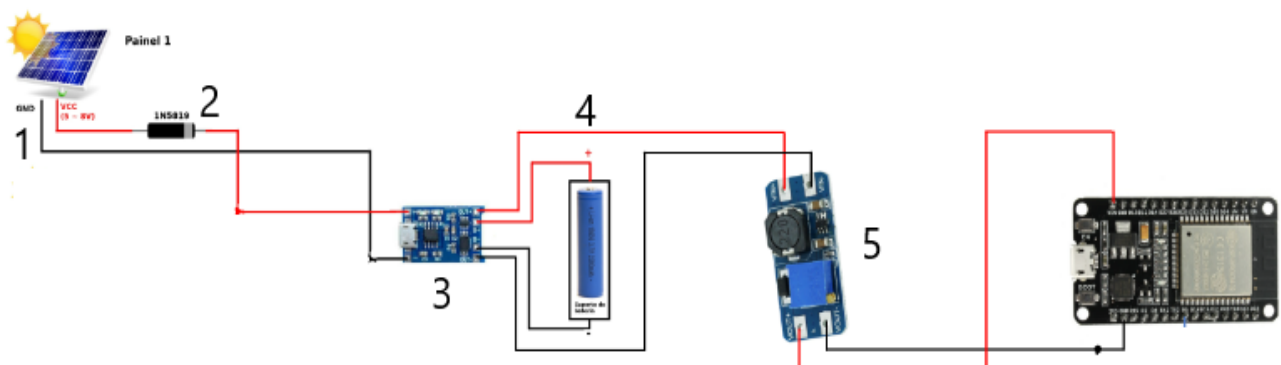


Imagem 6: Circuito de alimentação do ESP32.

Fonte: <https://www.makerhero.com/blog/alimentar-esp32-com-bateria/>

O Circuito é composto por:

1. Célula de energia solar fotovoltaica com 5v de saída;
2. Diodo Retificador 1N4007;
3. Módulo carregador de bateria lítio TP4056;
4. bateria de lítio de 2200 mAh;
5. Módulo Regulador de Tensão Ajustável MT3608 Step Up - 2,5V a 28V;

Funcionamento:

Primeiramente, a célula fotovoltaica transforma a energia solar em energia elétrica. Essa energia elétrica alimenta o módulo TP4056, que carregará a bateria ligada a ele. Em seguida, a bateria alimenta regulador de tensão MT3608 com uma tensão abaixo de 5V, assim, ele regula a saída de energia da bateria para 5V, e alimenta o ESP32 com esses 5V.

O custo final foi de R\$199,46, conforme a tabela 1

Tabela 1: Custo total dos materiais

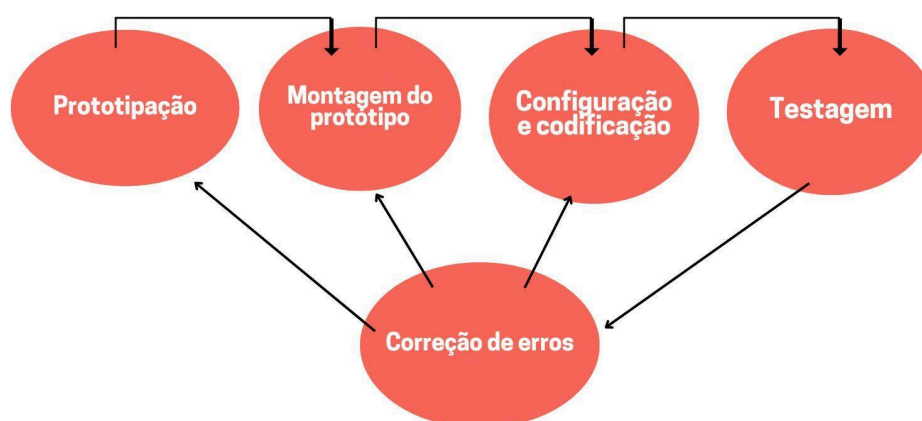
Materiais	Preço (R\$)
Temt6000	11,00
BMP280	15,00
DHT22	45,00
REED SWITCH	8,00
ESP 32 NODEMCU	55,00
Célula de energia solar fotovoltaica	24,99
Módulo carregador de bateria	5,99
Diodo Retificador 1N4007	3,99
Bateria de lítio de 2200 mAh	22,00
Módulo Regulador de Tensão	8,49
Preço total (R\$)	199,46

Fonte: Autoria própria (2022)

3.1.2. Desenvolvimento

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

Figura 7. Esquema de etapas em ciclos



Fonte: Autoria própria (2022)

3.2. Validação

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

Após isso, definiu-se o circuito do projeto, seguida de sua montagem, que se constitui na construção física do circuito. Em seguida, usando-se da plataforma Arduino IDE, houve a construção do algoritmo controlador do circuito. Dentre os procedimentos, deve-se importar as bibliotecas dos respectivos sensores e microcontrolador, que contêm as funções prontas para serem usadas, além da configuração do ESP32 e ordenação das funções de coletas de dados em fluxo, atuando em *loop*, mas em um intervalo de tempo determinado. Depois de coletados, os dados são 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, foram realizados testes que consistiram no acompanhamento da coleta dos valores meteorológicos, com a visualização dos dados em um dispositivo de saída.

Em seguida, verificou-se o funcionamento do circuito e dos sensores, por meio de:

- Teste de sensibilidade: Verificar a detecção do sensor à variações por meio de mudanças controladas.

- Teste de estabilidade: Verificar o grau de variação na medição do parâmetro em intervalos regulares.

- Teste de linearidade: Relacionar a linearidade entre os valores de entrada e saída, ou seja, se a medição do sensor muda conforme o parâmetro medido se altera.

- Teste de interferência: Funcionamento dos sensores ao haver interferências externas, como ruído elétrico ou campos magnéticos.

- Teste de calibração: Comparação entre os resultados das medições com valores de referência obtidos de fontes confiáveis para verificar a calibração do sensor.

Após a verificação do comportamento dos sensores e do tratamento das informações coletadas, analisou-se quantitativo de confiabilidade da estação, por meio de um comparativo da mesma com a estação meteorológica profissional presente na cidade Guanambi. Para isso, a estação ficou ligada continuamente durante alguns dias entre o período de 30/06/2023 á 05/07/2023, sendo alimentada por um carregador de celular com tensão de saída de 5 volts, e conectada à rede *wi-fi* doméstica, e posicionada de forma a receber livremente rajadas de ar, bem como incidência solar frequente. Os dados foram coletados, enviados e armazenados no serviço de banco de dados do *Firebase*, onde o processo de coleta e envio foi configurado para acontecer de minuto à minuto. É necessário destacar que as duas estações atuam em locais diferentes, com cerca de 3 Km de distância uma da outra, portanto, espera-se que as condições locais nem sempre sejam as mesmas, mas aproximadas, o que afeta as análises.

Para uma análise comparativa detalhada, desenvolveu-se uma aplicação em Python, capaz de gerar gráficos que exibem informações comparativas entre os dados coletados pelas duas estações. Para isso, é necessário fornecer ao validador desenvolvido os arquivos que contém os dados a serem analisados. Os dados da estação construída foram exportados para um arquivo .json. Já os dados, de cada dia, da estação de Guanambi, podem ser exportados através do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em formato .csv e posteriormente visualizado como planilha. Pelo link <https://mapas.inmet.gov.br>, temos um mapa com todas as estações monitoradas pelo INMET.

3.3. 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, pretendeu-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).

3.3.1. Diagramação, Prototipagem e Codificação da Plataforma

Anterior ao processo de codificação, documentou-se 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, houve 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, realizou-se a prototipação, para 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, utilizou-se 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 e versionamento de código-fonte e arquivos. Por meio dela, desenvolvedores trabalham 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.

3.4. 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 E DISCUSSÕES

No geral, a estação construída apresentou poucos problemas de interrupção na coleta. Durante os testes por longos períodos de tempo em cada dia, não foi necessário manusear a estação ou o código-fonte para resolução de problemas.

No entanto, ressalta-se a necessidade de melhorar a estrutura da estação para sua ação em campo, pois com os materiais utilizados, em um longo período exposto ao sol, pode vir a danificar certos componentes, além de problemas de infiltração ao enfrentar chuvas.

A estação ainda não é capaz de fornecer dados verossímeis para a equação da determinação de ETo. Em resumo, o que impede isso são os problemas de calibração do TEMT6000, que capta a radiação solar, e do anemômetro.

Os dados climatológicos coletados pelas duas estações podem ser consultados no endereço:

<https://github.com/maiconrp/estacao-meteorologica/tree/dev/estacao/docs/validacao>.

4.1. Temperatura

Durante a coleta dos dados de temperatura, observou-se uma elevação da mesma para a casa dos 30 °C à 40 °C entre o período da manhã e tarde, como consta no gráfico da imagem 7. Isso se deve a posição do sensor, que estava no interior do compartimento do circuito. Com a ação do sol sob o compartimento de plástico, seu interior esquentava, e isto

também prolongava o tempo de resfriamento da estrutura. Dessa forma, a temperatura marcada pela AgroMet apresentava regularmente valores mais altos .

Ao notar isso, o DHT22 foi retirado da posição em questão, e colocado em um compartimento sem abafamento e irradiação solar. O resultado desta mudança rendeu valores dentro do normal, conforme o gráfico da imagem 9, elevando a taxa de assertividade e reduzindo a variância média.

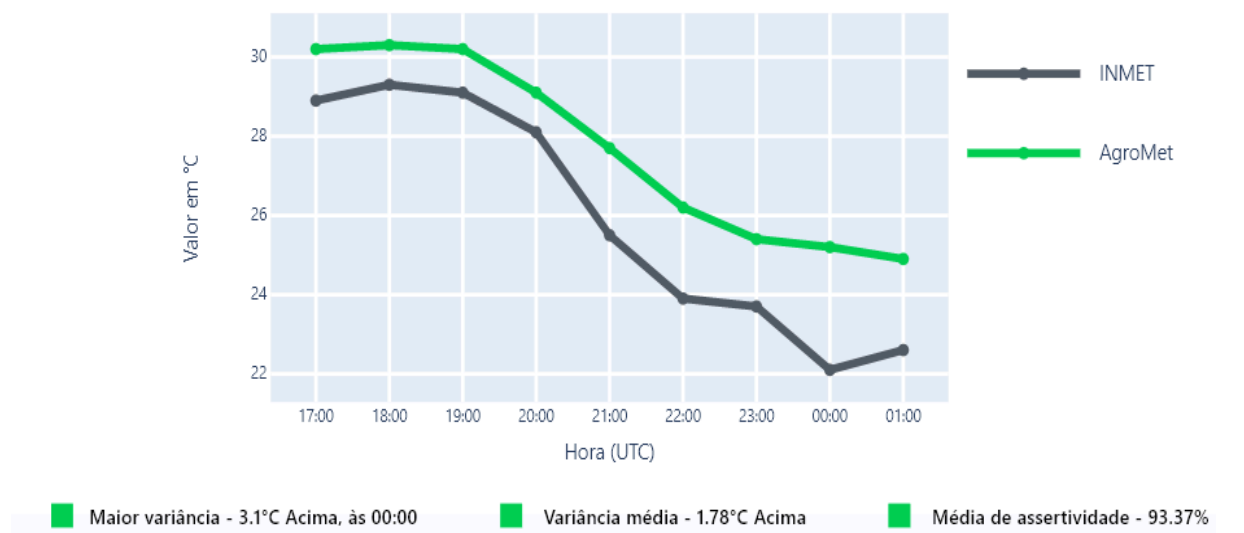


Imagem 7 - Gráfico comparativo do dia 30/06/2023. Fonte: Autoria própria (2023)

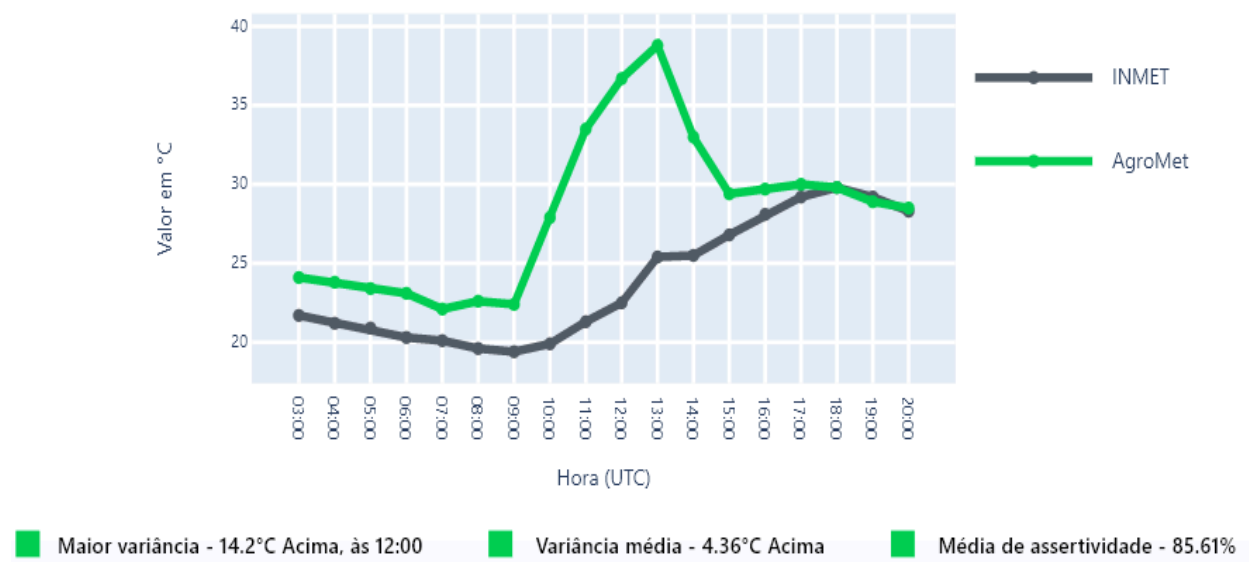


Imagem 8 - Gráfico comparativo do dia 02/07/2023. Fonte: Autoria própria (2023)

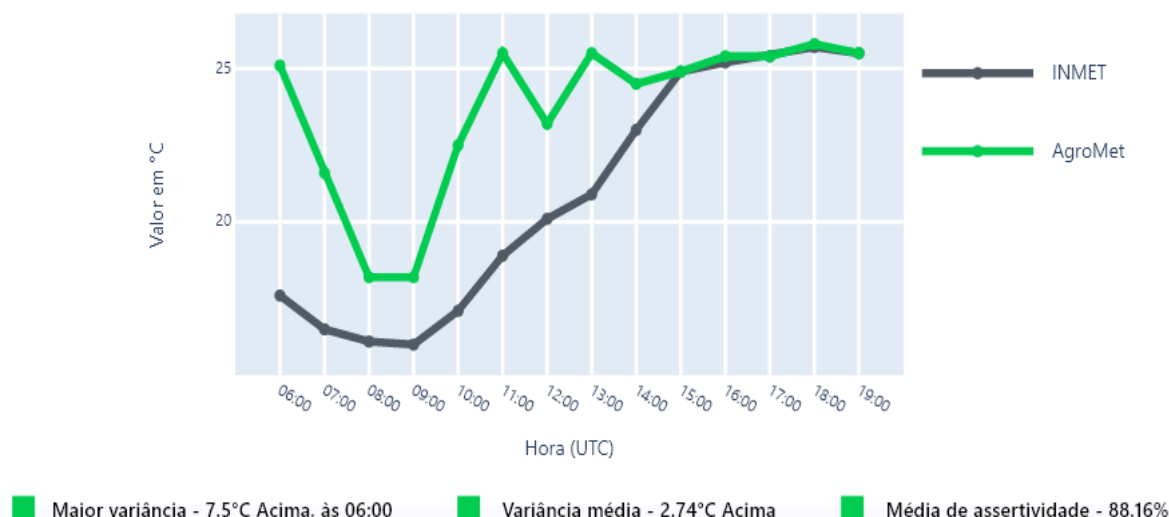


Imagem 9 - Gráfico comparativo do dia 05/07/2023. Fonte: Autoria própria (2023)

No geral, nota-se um grau de estabilidade dentro do esperado durante a maior parte do tempo. Além disso, a leitura dos valores são lineares, pois mudam conforme o estímulo se altera, como se nota nos períodos do entardecer, das 15:00 às 17:00, (18:00 e 20:00 UTC, respectivamente).

4.2. Umidade

A leitura da umidade da estação construída apresenta estabilidade e linearidade, ao observar seu comportamento de acordo com os períodos do dia e variância da temperatura. No entanto, observa-se uma média de assertividade relativamente baixa. A variância média frequentemente acima pela estação construída pode ser explicada pelas condições dos locais de testes, uma vez que a estação de Guanambi fica a céu aberto.

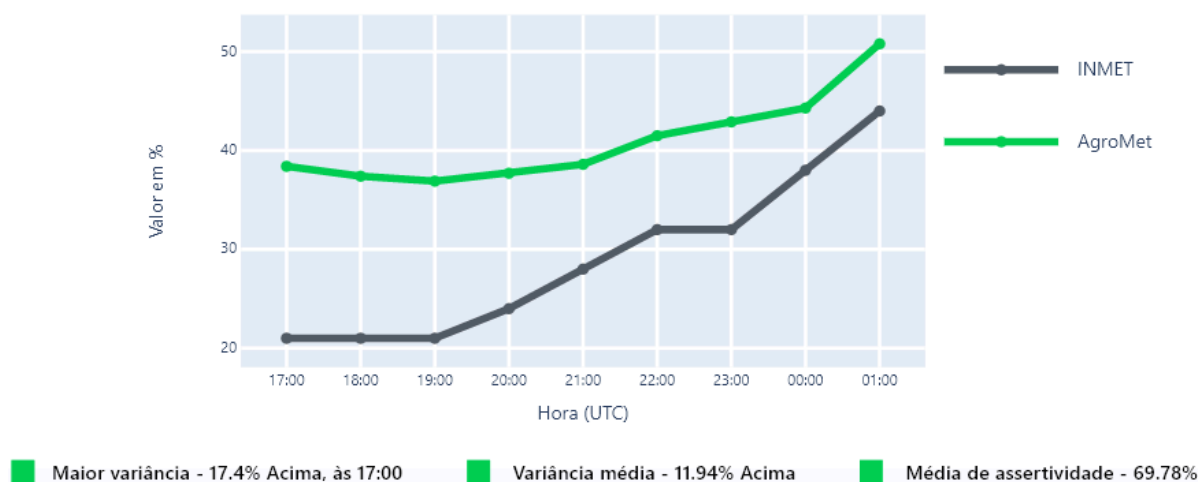


Imagem 10 - Gráfico comparativo do dia 30/06/2023. Fonte: Autoria própria (2023)

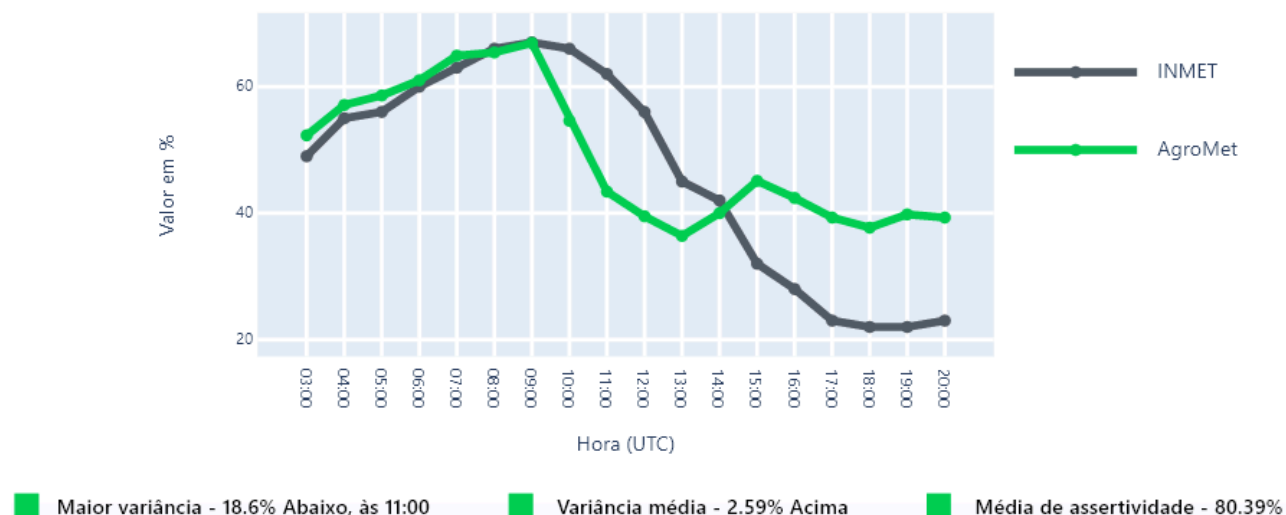


Imagem 11 - Gráfico comparativo do dia 02/07/2023. Fonte: Autoria própria (2023)

No Gráfico da imagem 11, destaca-se uma variância de 18,6% entre os valores no horário de 11:00 UTC. Pode-se estabelecer uma relação entre a queda da umidade durante o período das 9:00 às 13:00 UTC com a temperatura marcada no mesmo dia e período, uma vez que o sensor responsável por mensurar a umidade sofria com a elevação da temperatura no interior da estação em razão da incidência solar.

Ao alterar a posição do DHT22, a umidade se apresentou mais estável no amanhecer do dia 05/07/2023, conforme o gráfico da imagem 12.

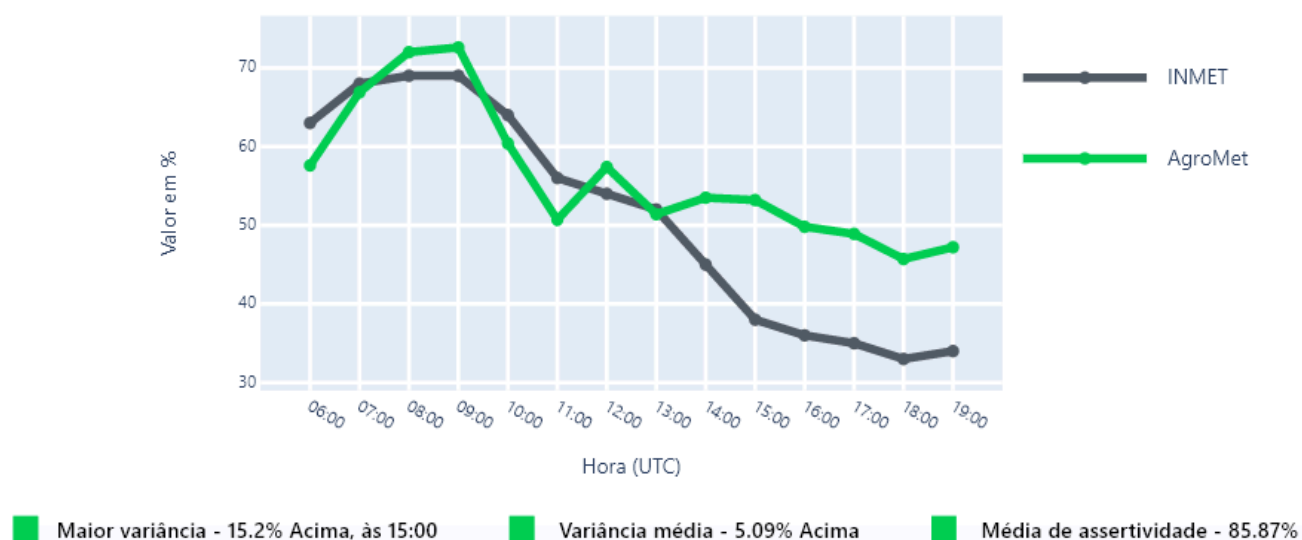


Imagem 12 - Gráfico comparativo do dia 05/07/2023. Fonte: Autoria própria (2023)

4.3. Irradiância solar

Em razão da diferença das unidades de medidas da irradiância solar entre as duas estações, não foi possível realizar a comparação com a estação de Guanambi.

De antemão, os valores coletados pelo sensor TEMENT6000 não podem ser utilizados na equação de determinação de ETo, pois os valores em W/m^2 são muito abaixo do esperado. Quando comparamos o gráfico da imagem 13 com os valores coletados pelo TEMENT6000 por AZEVEDO(2020) em seu trabalho, é notável um problema de conversão do valor da entrada analógica em W/m^2 do TEMENT6000 da AgroMet.

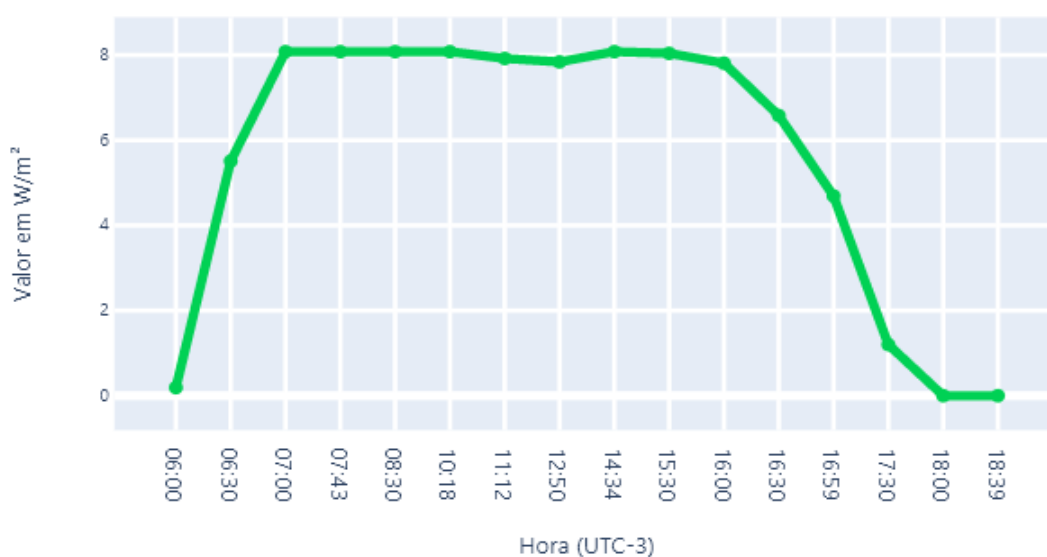


Imagem 13 - Gráfico da irradiância solar do dia 01/07/2023. Fonte: Autoria própria (2023)

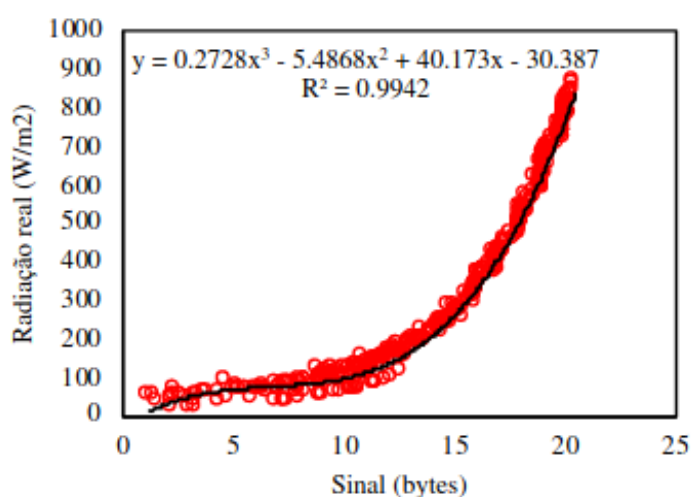


Imagem 14 - Gráfico da radiação coletado por Azevedo. Fonte: AZEVEDO(2023)

Independente das condições particulares do nosso teste e do teste realizado por Azevedo, houve uma incidência solar que atingiu o limite de captação pelo TEMT6000. Portanto, nota-se que, enquanto o valor máximo registrado pela Agromet é de 8W/m^2 , o valor máximo atingido conforme os testes de Azevedo é de aproximadamente 900W/m^2 .

Apesar disto, o TEMT6000 apresentou estabilidade durante os intervalos de coleta, além de boa linearidade, ao observarmos a mudança dos valores de acordo com os períodos do entardecer e amanhecer. Logo, é necessário realizar ajustes de calibração.

4.4. Vento

Apesar do anemômetro funcionar estruturalmente, há um problema de calibração, proveniente do código responsável por determinar a velocidade de rotação das pás. Isto é evidenciado quando observa-se uma velocidade máxima de aproximadamente 170 m/s no gráfico do dia 30/06/2023, conforme a imagem 15.

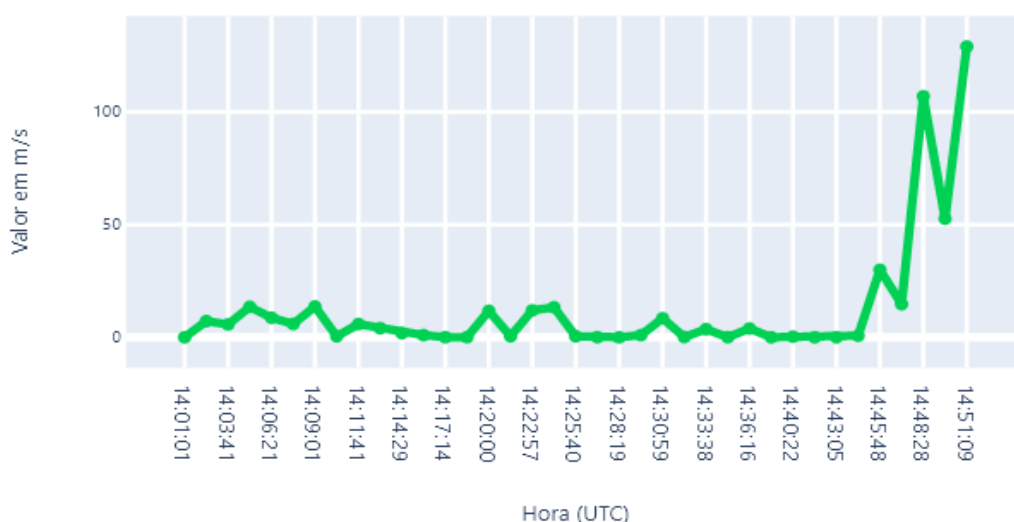


Imagem 15 - Gráfico da velocidade do vento no decorrer do dia 30/06/2023. Fonte: Autoria própria (2023)

O anemômetro não apresenta boa estabilidade, evidenciado pela grande variação entre as velocidades do dia 30/06/2023. Apesar disso, sua capacidade em captar baixas velocidades garante alta sensibilidade. Ainda assim, o anemômetro não está calibrado adequadamente para fornecer valores confiáveis à equação de determinação da ETo.

4.5. Solução Desenvolvida

A solução desenvolvida compreende um aplicativo (Imagem 16) e uma estação meteorológica de baixo custo, com estrutura reciclável (Imagem 17).



Imagem 16 - Tela inicial do aplicativo

No aplicativo, o produtor pode cadastrar sua cultura. Após informar todos os dados referente a sua cultura e a estação ter coletado informações do clima daquele o dia, o produtor pode visualizar o tempo de irrigação diário ideal, bem como a quantidade de água economizada em relação ao tempo de irrigação anterior, além dos valores de evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c).



Imagem 17 - Estação meteorológica construída

O produtor também tem acesso em tempo real às informações do clima coletadas pela estação (Imagem 18) e a um dashboard, com gráficos que mostram a variância do valor dos parâmetros climáticos ao longo do tempo (Imagem 18).

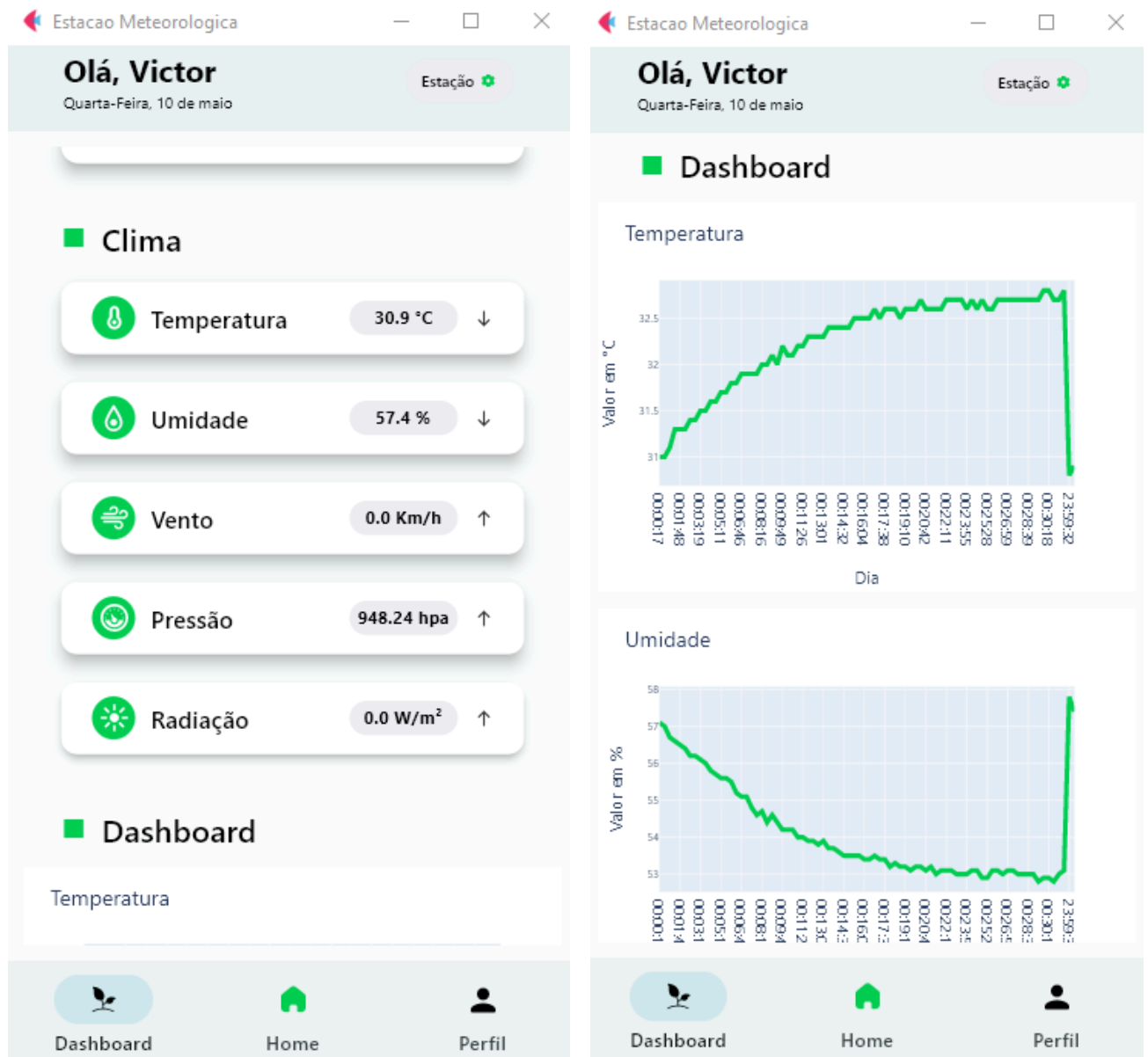


Imagem 18 - Informações do clima e Dashboard com gráficos de temperatura e umidade

Toda as informações referentes ao processo de construção do aplicativo podem ser encontradas no seguinte repositório do GitHub: <https://github.com/maiconrp/estacao-meteorologica>

5. CONCLUSÃO

Por meio da análise e elaboração do projeto foi possível a compreensão e discussão de diversos aspectos práticos e teóricos. A estimativa inicial, todavia alta, não foi alcançada por completo. Entretanto, fora possível a concepção e desenvolvimento de aplicação de alto desempenho e tecnologia, alinhado à uma agricultura sustentável, inovadora e tecnológica, de baixo impacto ambiental, frente a um cenário onde a agricultura é praticada na ausência de ferramentas tecnológicas. O sistema desenvolvido se torna uma solução viável como ferramenta auxiliar no manejo de culturas, que pode ser adaptado a cada tipo de cultura com seus aspectos particulares. Não somente, alinha-se um custo-benefício considerável, valendo-se de materiais recicláveis, agregando um caráter sustentável ao mesmo. Por fim, visando a expansão do escopo do projeto, propõe-se a adequação da lógica de cálculo de mensuração hídrica para outras formas de irrigação. Além disso, sugere-se a consideração do tipo de solo, com sua permeabilidade e capacidade de retenção de água, para maior assertividade na mensuração hídrica. Não somente, considera-se também o controle total e automático do sistema de irrigação, o monitoramento das plantas através de análise de imagens e diagnósticos com base em seu crescimento, além da estimativa de produção na colheita e geração e compartilhamento de relatórios detalhados de cada safra.

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, Born Richard; 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

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, Salassier; SOARES, Antônio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **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
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, Luis Gonzaga; Et Al. **EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA: UMA ABORDAGEM ATUAL DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA**1. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/w3wxhhsqgVK67LPMhPjNQnq/?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, Demetrios. **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>

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>

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>

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://reinpec.cc/index.php/reinpec/article/view/488>

GOMIDE, Reinaldo Lucio; ALBUQUERQUE, Paulo Emílio Pereira 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, Naomi. **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, Rattan. **Soil science and the carbon civilization**. Soil Science Society of America Journal, Sept. 2007. DOI: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj2007.0001>

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; FERREIRA, Raquel Scalia Alves; CHRISTOFIDIS, Demetrios. **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, Evernando Chartuni; BERNARDO, Salassier; PALARETTI, Luiz Fabiano. **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

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

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

RIBEIRO, Josiana Gonçalves; MARINHO, Douglas Yusof; ESPINOSA, Jose Waldo Martinez. Agricultura 4.0: **Desafios À Produção De Alimentos E Inovações Tecnológicas**. Catalão, p. 1-7, ago. Acesso em: 28 de out. de 2022.

SMITH, Martin. **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

Modelo	Marca	Faixa operacional (°C)	Preço (R\$)	Desempenho
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

Modelo	Marca	Faixa operacional (%)	Preço (R\$)	Desempenho
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	Measurement	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

Modelo	Marca	Faixa operacional (hPa)	Preço (R\$)	Desempenho
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

Modelo	Marca	espectro (nm)	Preço (R\$)	Desempenho
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).

