

INSTITUTO SUPERIOR MONITOR

Departamento de Gestao Economia e Contabilidade

Licenciatura em Gestão e Informática

Monografia

Joaquim Armindo Fabião Lihaha (18-235)

Tema: Proposta de um Sistema de Irrigação e Monitorização Inteligente Baseado em Internet Of Things (IoT).

Caso de estudo: Associação de Pequenos Agricultores do Distrito de Baixo Limpopo

Supervisor: Dr. Calado Fijamo

Maputo

Outubro de 2025

INSTITUTO SUPERIOR MONITOR

Departamento de Gestao Economia e Contabilidade

Joaquim Armino Fabião Lihabe (18-235)

Tema; Proposta de um Sistema de Irrigação e Monitorização Inteligente Baseado em Internet Of Things (IoT).

Caso de estudo: Pequenos Agricultores do Distrito de Baixo Limpopo

Trabalho de Fim de Curso apresentado à Faculdade de Gestão e Economia em cumprimento de requisito parcial para a obtenção de grau de Licenciatura em Gestão e Informatica, com a supervisão do Dr Calado Pereira Fijamo.

Maputo

Outubro de 2025

Dedicatoria

Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus pela luz que sempre guiou os meus passos a minha mãe Felizarda Uachisso e a minha família que são meus companheiros de todos os momentos, pelo o amor e apoi incansavel e dizer que os amo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo dom da vida, saúde e pela força consedeu-me em todos os momentos desta caminhada acadêmica. Sem a sua graça e proteção nada disso teria sido possível.

Agradeço profundamente ao Instituto Superior Monitor, pela oportunidade da formação e por todo conhecimento adquirido pelo curso de Gestão e informática.

Aos meus pais e familiares, pelo apoio incondicional, paciência e compressão em todos momentos de esforço e dedicação.

Ao meu supervisor Dr. Calado Perera Fijamo e a minha monitora Soraya, pela orientação, paciência e dedicação que tornaram possível a concretização deste trabalho.

Aos colegas e amigos do curso, pelo companheirismo, encorajamento e amizade construída ao longo desta caminhada acadêmica.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho, deixo aqui a minha sincera gratidão.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de um sistema de irrigação e monitorização inteligente suportado em Internet of Things (IoT) direcionado a pequenos agricultores do Distrito do Baixo Limpopo. A investigação parte do reconhecimento dos desafios enfrentados pela agricultura local, tais como a escassez de água, a baixa produtividade e as dificuldades na adoção de tecnologias modernas. O objetivo principal consiste em demonstrar como a utilização de dispositivos IoT pode otimizar o uso da água, melhorar a eficiência produtiva e promover práticas agrícolas sustentáveis.

A análise realizada evidencia que a aplicação de sensores e plataformas de monitorização permite reduzir o consumo de água através da irrigação precisa, ao mesmo tempo em que proporciona ganhos de produtividade e maior resiliência às mudanças climáticas. Contudo, foram identificadas limitações relevantes, incluindo os elevados custos iniciais, a fraca infraestrutura de telecomunicações, a baixa literacia digital e a resistência de alguns agricultores à adoção de novas tecnologias.

Face a estas barreiras, o estudo recomenda a implementação de programas de capacitação, o incentivo ao uso de energias renováveis, a criação de linhas de financiamento acessíveis e o desenvolvimento de projetos-piloto que comprovem os benefícios do sistema. Conclui-se que, apesar dos desafios, a proposta é viável e representa uma oportunidade estratégica para transformar a agricultura no Baixo Limpopo, promovendo eficiência, sustentabilidade e segurança alimentar.

Palavra-Chave: Internet das Coisas , Irrigação Inteligente e Pequenos Agricultores

ABSTRACT

This study presents a proposal for an intelligent irrigation and monitoring system supported by the Internet of Things (IoT), designed for small-scale farmers in the Baixo Limpopo District. The research stems from the recognition of key challenges faced by local agriculture, such as water scarcity, low productivity, and difficulties in adopting modern technologies. The main objective is to demonstrate how IoT devices can optimize water use, enhance production efficiency, and promote sustainable farming practices.

The analysis shows that the application of sensors and monitoring platforms enables a significant reduction in water consumption through precise irrigation, while simultaneously improving crop yields and strengthening resilience to climate change. However, relevant limitations were identified, including high initial investment costs, weak telecommunication infrastructure, low digital literacy, and resistance from some farmers towards adopting new technologies.

To overcome these challenges, the study recommends implementing training programs, promoting the use of renewable energy sources, creating accessible financing mechanisms, and developing pilot projects to demonstrate the tangible benefits of the system. The findings suggest that, despite existing barriers, the proposed solution is feasible and represents a strategic opportunity to transform agriculture in Baixo Limpopo by fostering efficiency, sustainability, and food security.

Key-word: Internet of Things, Smart Irrigation and Small-Scale Farmers

Índice

Contéudos	Páginas
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Delimitação do Tema.....	2
1.3. Organização do Trabalho	2
1.4. Problematização.....	3
1.5. Objectivos da Pesquisa	3
1.5.1 Objectivo Geral.....	3
1.5.2 Objectivos Específicos	3
1.5.3. Interesse na Investigação.....	4
1.6. Fases de Elaboração do Trabalho.....	4
1.7. Hipótese	4
1.8. Relevância do Tema de Pesquisa	5
1.9. Justificativa	5
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1. Enquadramento Teórico (Contextualização)	7
2.1.1. Dado	7
2.1.2. Informação.....	7
2.1.3. Sistemas de Informação	8
2.2. Enquadramento Teórico	8
2.2.1. Estudo de Gutiérrez et al. (2014).....	8
2.2.2. Estudo de Aleksandrova (2018)	8

2.2.3. Trabalho de Abba & Ferreira (2021).....	9
2.2.4. Manual da FAO (2020) – “Smart Irrigation – Efficient Water Management”	
9	
2.3. Funcionamento do Modelo de Monitoria	9
2.3.1. Raspberry Pi	9
2.3.1.1 Componentes principais (Modelo 3B+)	9
Fonte: Heath (2024)	11
2.3.1.2 Raspberry Pi versus Arduino	11
2.3.1.3. ESP8266.....	13
2.3.1.4. IDE Arduino	14
2.3.2. Sensor ultra-sónicos	14
2.3.3 Acumulador de energia solar.....	15
2.3.4 Sensor de presença	16
2.3.5 Buzzer	16
2.3.6 LED	17
2.3.7. Sensor de humidade do solo	17
2.3.8. Sensor de humidade e temperatura.....	18
2.3.9. Circuito 555	18
3. METODOLOGIA	20
3.1. Metodologia de Pesquisa	20
3.2. Metodologia de Concepção.....	20
3.3. Classificação da Pesquisa.....	21
3.3.1 Quanto à Natureza ou Finalidade	21
3.3.2 Quanto ao Objectivo	21
3.3.3 Quanto à Abordagem.....	21
3.3.4 Quanto ao Método.....	21
3.3.5 Quanto aos Procedimentos.....	21

3.4. População e Amostra da Pesquisa.....	22
3.4.1 População em Estudo.....	22
3.4.2 Amostra em Estudo	22
3.5. Instrumentos e Técnicas de Pesquisa.....	22
3.5.1 Instrumentos de Colecta de Dado	22
3.5.2 Técnicas de Pesquisa.....	22
3.6. Considerações Éticas.....	22
3.6.1 Limitações	23
3.6.2 Critérios de Inclusão.....	23
3.6.4 Critérios de Exclusão	23
4. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO	24
4.1. Como Organização.....	24
4.2. Missão	24
4.3. Visão	24
4.4. Valores	24
4.5. Desafios	24
4.6. Necessidade de Informação na Instituição.....	25
4.7. Requisitos do Projecto.....	25
4.8.1. Requisitos Funcionais	25
4.8.2. Requisitos Não Funcionais	25
5. MODELAÇÃO DO PROJECTO	26
5.1. Visão Geral do Sistema.....	26
5.2. Diagrama de Blocos	26
5.3. Fluxograma.....	27
5.4. Estrutura da rede projectada	28
5.5. Dimensionamento do sistema	28

5.5.1. Célula e a área de cobertura de um nó	29
5.5.2. Quantidade de água necessária	30
5.5.3. Discussão dos Resultados	32
5.5.4. Conclusão.....	33
5.5.5. Recomendações	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

Lista de Figuras

- Figura 1: Raspberry Pi 3B+ **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 2: Diagrama de pinos e partes constituintes de Raspberry Pi 3B+ **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 3: Diagrama de Pinos do ESP8266..... **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 4: Modelo ilustrativo da proposta de Sensor ultra-sonicos**Erro! Marcador não definido.**
- Figura 5: Acumulador de Energia Solar; **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 6: Sensor de Presença **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 7: Buzzer **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 8. LED..... **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 9:Sensor de humidade do solo **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 10: Sensor de Humidade e Temperatura **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 11.Circuito 555..... **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 12:Diagrama de Blocos do Sistema **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 13: Fluxograma do Sistema **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 14:: Topologia da rede, em estrela **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 15: Dimensões da plantação **Erro! Marcador não definido.**
- Figura 16: Disposição dos nós no sistema da plantação agrícola**Erro! Marcador não definido.**
- Figura 17: Disposição da canalização do sistema de irrigação**Erro! Marcador não definido.**

Lista de tabelas

Tabela 1: Comparação entre Arduino Uno e Raspberry Pi**Erro! Marcador não definido.**

Tabela 2: Valores aproximados das necessidades hídricas sazonais**Erro! Marcador não definido.**

Lista de Abreviaturas

IoT	Internet of Things
FAO	Food and Agriculture Organization
INE	Instituto Nacional de Estatística
ONU	Organização das Nações Unidas
SI	Sistemas de Informação
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
RCA	Radio Corporation of America
LED	Light Emitting Diode
WI-FI	Wireless Fidelity

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A agricultura é a base do desenvolvimento nacional em Moçambique, conforme estipulado no artigo 103, ponto 1, da Constituição da República. O país possui vastas áreas de terra arável e um clima favorável à produção agrícola, factores que conferem um grande potencial ao sector (FAO, 2020). No entanto, “a produtividade agrícola ainda é limitada por diversos desafios, entre os quais se destacam a dependência da chuva, a baixa eficiência dos sistemas de irrigação e a falta de tecnologias modernas para gestão dos recursos hídricos” (MASA, 2012).

O Baixo Limpopo, localizado na província de Gaza, destaca-se como uma das mais importantes regiões agrícolas do país, sendo responsável pela produção de arroz, hortícolas e frutas destinadas ao consumo interno e exportação. A região é estratégica para o fornecimento de alimentos, sendo um dos principais polos de produção de arroz, hortícolas e frutas. No entanto, a dependência da chuva, a baixa eficiência dos sistemas de irrigação e a falta de tecnologias avançadas limitam a produtividade agrícola e a sustentabilidade da produção. Contudo, “a gestão ineficiente da irrigação compromete o aproveitamento pleno do seu potencial, gerando desperdício de água e elevados custos de produção” (INE, 2011).

A modernização da agricultura, por meio da adopção de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), surge como uma alternativa inovadora para modernizar a irrigação e melhorar a gestão dos recursos hídricos. A IoT permite a monitorização remota das condições do solo, da humidade e da necessidade de água das culturas, optimizando a irrigação e reduzindo desperdícios (Aleksandrova, 2018).

Assim, este estudo propõe a conceptualização de um sistema de irrigação e monitorização inteligente baseado em IoT, adequado à realidade dos pequenos agricultores do Baixo Limpopo, promovendo uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e contribuindo para o desenvolvimento sustentável do sector agrícola.

1.2. Delimitação do Tema

Este trabalho apresenta uma proposta de sistema de irrigação e monitoria inteligente baseado pela tecnologia de Internet das Coisas (IoT), adaptado à realidade dos pequenos agricultores da região do Baixo Limpopo, em Moçambique. O tema nasce da necessidade urgente de modernizar os métodos de irrigação, tornando-os mais eficientes, económicos e sustentáveis. A proposta é centrada na concepção de uma solução tecnológica que visa melhorar a produtividade agrícola por meio do uso racional da água e da automatização do processo de irrigação, utilizando sensores, microcontroladores e conectividade para monitorização em tempo real.

A escolha do tema justifica-se pela relevância da agricultura no desenvolvimento económico e social de Moçambique, especialmente nas zonas rurais. “A utilização de tecnologias inteligentes na agricultura – conhecida como agricultura de precisão – é uma tendência global que visa reduzir custos, aumentar a produção e promover a sustentabilidade dos sistemas produtivos” (Silva et al., 2020).

1.3. Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado em sete capítulos, estruturados da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução: Apresenta a contextualização do tema, delimitação, problematização, objectivos, relevância, justificativa e estrutura do trabalho.
- Capítulo 2 – Revisão da Literatura: Aborda os fundamentos teóricos relacionados com irrigação, agricultura sustentável, pequenos agricultores e as tecnologias de IoT aplicadas.
- Capítulo 3 – Metodologia: Descreve os métodos científicos utilizados para a recolha e análise de dados, bem como a classificação da pesquisa, abordagem, população e instrumentos utilizados.
- Capítulo 4 – Descrição da Instituição: Apresenta a caracterização do Distrito do Baixo Limpopo, com enfoque na actividade agrícola local e nos desafios enfrentados pelos .
- Capítulo 5 – Modelação do Projecto: Propõe o sistema de irrigação inteligente, detalhando a sua arquitectura, componentes e funcionamento.
- Capítulo 6 – Discussão de Resultados: Analisa os potenciais impactos e benefícios da adopção do sistema proposto com base em dados e literatura existente.
- Capítulo 7 – Conclusão: Resume os principais achados da pesquisa, respondendo à questão-problema.
- Capítulo 8 – Limitações e Recomendações para Trabalhos Futuros: Aponta as limitações do estudo e sugere direcções para investigações futuras.

1.4. Problematização

A irrigação é fundamental para garantir maior produtividade agrícola e reduzir a dependência da chuva, pese embora Moçambique possui um potencial de irrigação estimado em cerca de 3,3 milhões de hectares, mas apenas 120 mil hectares possuem infra-estruturas de irrigação, dos quais apenas 50 mil hectares estão operacionais (INE, 2011). No Baixo Limpopo, apesar da existência de sistemas de irrigação, muitos deles são obsoletos, ineficientes e economicamente insustentáveis para os pequenos agricultores.

No entanto, os actuais sistemas de irrigação no Baixo Limpopo apresentam sérias limitações, tais como alto custo de implementação e operação, gestão ineficiente da água e falta de tecnologias de monitorização. Como resultado, muitos pequenos agricultores enfrentam dificuldades em maximizar a produção e reduzir perdas, comprometendo a segurança alimentar e o crescimento económico da região (MASA, 2012).

O alto custo dos sistemas de irrigação tradicionais compromete a sua expansão, colocando em risco a segurança alimentar da população. Além disto, a má gestão dos recursos hídricos contribui para a degradação ambiental e a escassez de água para a agricultura. Diante deste quadro, coloca-se a seguinte questão-problema: Pode um sistema de irrigação e monitorização inteligente baseado em IoT ser uma alternativa mais económica e eficiente em relação aos sistemas tradicionais de produção agrícola no Baixo Limpopo?

1.5. Objectivos da Pesquisa

1.5.1 Objectivo Geral

- Propor um sistema de irrigação e monitorização inteligente baseado em IoT para pequenos agricultores do Baixo Limpopo, promovendo a modernização da agricultura e a optimização do uso dos recursos hídricos.

1.5.2 Objectivos Específicos

- Analisar os desafios da irrigação no Baixo Limpopo
- Estudar os impactos desta tecnologia na produção agrícola.
- Examinar a viabilidade técnica e económica da utilização de IoT na gestão da irrigação na região.
- Descrever os componentes e tecnologias necessários para o funcionamento do sistema proposto.

- Apresentar um modelo conceptual do sistema, destacando os seus potenciais benefícios e prevendo as desvantagens para os pequenos agricultores.

1.5.3. Interesse na Investigação

A escolha do tema surgiu do interesse em explorar soluções tecnológicas acessíveis e sustentáveis para pequenos produtores rurais, especialmente em regiões com alto potencial agrícola como o Baixo Limpopo.

O autor reconhece que a agricultura moderna deve integrar tecnologias digitais para se tornar mais produtiva, resiliente e sustentável, em linha com os Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente o ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável (ONU, 2015).

1.6. Fases de Elaboração do Trabalho

A elaboração deste trabalho foi dividida em várias fases, conforme descrito abaixo:

- Fase 1 – Escolha e definição do tema: Identificação de uma problemática relevante e actual no contexto agrícola moçambicano.
- Fase 2 – Levantamento bibliográfico: Recolha de informações teóricas e dados estatísticos sobre irrigação, IoT e agricultura em Moçambique.
- Fase 3 – Definição da metodologia: Escolha dos métodos de pesquisa, classificação, população e técnicas de análise.
- Fase 4 – Desenvolvimento do modelo: Concepção de um sistema de irrigação inteligente, com base em estudos de caso e tecnologias existentes.
- Fase 5 – Redacção e discussão: Elaboração dos capítulos com fundamentação teórica, análise crítica e discussão dos resultados esperados.
- Fase 6 – Conclusão e recomendações: Apresentação das principais conclusões e sugestões para futuras pesquisas ou implementações práticas.

1.7. Hipótese

A introdução de um sistema de irrigação e monitorização inteligente baseado em IoT permitirá uma redução significativa dos custos de implementação e operação em comparação com os sistemas de irrigação convencionais. Esta solução poderá ser mais acessível para pequenos agricultores, contribuindo para o aumento da produtividade e a sustentabilidade da agricultura no Baixo Limpopo e esta redução será possível devido à utilização de sensores e dispositivos de baixo custo, bem como ao controlo optimizado do uso da água.

1.8. Relevância do Tema de Pesquisa

A pesquisa é relevante porque aborda um dos maiores desafios da agricultura moçambicana: a necessidade de modernizar os sistemas de irrigação e aumentar a eficiência da produção agrícola.

O Baixo Limpopo é um dos principais centros de produção agrícola do país, e a sua sustentabilidade é crucial para garantir a segurança alimentar. A agricultura moçambicana enfrenta desafios estruturais que comprometem a sua sustentabilidade e eficiência. O Baixo Limpopo, sendo uma das principais regiões agrícolas do país, carece de sistemas de irrigação modernos que permitam reduzir custos, melhorar a produtividade e otimizar o uso da água.

Este estudo é relevante porque: explora alternativas tecnológicas que podem tornar a irrigação mais eficiente e acessível, contribui para o desenvolvimento sustentável, ao propor soluções que minimizam desperdícios de água e fornece subsídios para políticas públicas e investimentos no sector agrícola, incentivando a modernização da irrigação.

A aplicação da Internet das Coisas (IoT) na agricultura pode representar um avanço significativo para os pequenos agricultores, permitindo-lhes adoptar práticas mais eficientes e sustentáveis.

1.9. Justificativa

A agricultura moçambicana enfrenta desafios estruturais que comprometem a sua produtividade. Embora o país possua terras férteis e um clima favorável, a dependência da chuva e a ineficiência dos sistemas de irrigação dificultam o crescimento do sector.

No Baixo Limpopo, as dificuldades na gestão da irrigação impactam directamente a produção de alimentos, afectando não apenas os agricultores locais, mas também a economia do país. O alto custo dos sistemas tradicionais limita a sua adoção por pequenos produtores, tornando necessária a busca por soluções inovadoras e acessíveis.

A irrigação inadequada afecta negativamente a produtividade e a sustentabilidade agrícola, principalmente nas regiões onde a dependência da chuva é um factor limitante. No Baixo Limpopo, apesar da disponibilidade de recursos hídricos, a gestão ineficiente da água e os custos elevados dos sistemas tradicionais de irrigação comprometem a competitividade dos pequenos agricultores.

A utilização da Internet das Coisas (IoT) pode proporcionar benefícios como:

- A inovação tecnológica na agricultura, demonstrando a viabilidade da IoT para pequenos agricultores.

- Monitorização em tempo real da humidade do solo, permitindo uma irrigação mais precisa e eficiente.
- Redução dos custos operacionais, devido ao uso racional da água.
- Aumento da produtividade, através da optimização do fornecimento de água às culturas.

Ao apresentar uma alternativa inovadora e viável para a irrigação no Baixo Limpopo, esta pesquisa apresenta a proposta que pode servir de base para futuras investigações e iniciativas governamentais voltadas para a modernização da irrigação em Moçambique, contribuindo para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável do sector agrícola.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Enquadramento Teórico (Contextualização)

A agricultura contemporânea tem sido desafiada a aumentar a produção alimentar, melhorar a eficiência do uso dos recursos naturais e adaptar-se às mudanças climáticas. Nesse contexto, a adoção de tecnologias digitais emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), é vista como uma das principais soluções para responder a essas exigências.

A IoT permite a criação de sistemas inteligentes, compostos por sensores, actuadores, softwares e redes de comunicação, capazes de recolher, transmitir, analisar e reagir a dados em tempo real. A sua aplicação na agricultura resulta na chamada “agricultura inteligente” ou “agricultura de precisão”, permitindo a monitorização e automação de práticas como irrigação, fertilização e controlo de pragas (Gutiérrez et al., 2014).

Antes de explorarmos o uso da IoT na irrigação, é fundamental compreender os conceitos de dado, informação e sistema de informação, os quais estruturam o funcionamento de qualquer tecnologia aplicada à gestão.

2.1.1. Dado

Dados são elementos brutos, desorganizados, que representam factos ou ocorrências sem contexto ou interpretação. Por exemplo, valores como “25% de humidade no solo” ou “35°C de temperatura” são dados. Isoladamente, não oferecem sentido completo (Laudon & Laudon, 2020).

No contexto da irrigação inteligente, sensores recolhem dados do solo (humidade, temperatura, pH), que posteriormente serão processados para produzir informação útil à tomada de decisões.

2.1.2. Informação

A informação resulta do processamento, organização e interpretação de dados. Quando os dados são analisados e contextualizados, tornam-se compreensíveis e úteis para a tomada de decisão. Por exemplo, saber que a humidade do solo está abaixo de 30% e que isso indica a necessidade de irrigação é uma informação.

Segundo Turban et al. (2015), informação é um recurso estratégico que deve ser bem gerido, sobretudo em ambientes que exigem eficiência operacional, como a agricultura de pequena escala.

2.1.3. Sistemas de Informação

Um Sistema de Informação (SI) é um conjunto organizado de recursos humanos, tecnológicos e processuais que colecta, processa, armazena e distribui informação para apoiar a tomada de decisão, a coordenação e o controlo dentro de uma organização (Stair & Reynolds, 2016).

1. A evolução dos sistemas de informação pode ser dividida em fases:
2. Era do processamento manual – onde os registos eram feitos em papel.
3. Era da automação mecânica e electrónica – uso de máquinas para cálculos e registos.
4. Sistemas computacionais centralizados – início da informatização com mainframes.
5. Sistemas distribuídos e em rede – surgimento da Internet e integração dos processos.
6. Sistemas inteligentes baseados em IoT e IA – capacidade de aprender, antecipar e agir autonomamente.

Na agricultura, os SI podem ajudar os produtores a tomar decisões informadas sobre irrigação, colheita e uso de insumos. Isso é especialmente importante em regiões como o Baixo Limpopo, onde os recursos são escassos e os agricultores enfrentam desafios logísticos e económicos.

2.2. Enquadramento Teórico

Vários estudos têm demonstrado o potencial da IoT para modernizar práticas agrícolas. Abaixo, são apresentados trabalhos semelhantes ao presente estudo, que servem como base para a construção do modelo proposto.

2.2.1. Estudo de Gutiérrez et al. (2014)

No trabalho “Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module”, Gutiérrez et al. propuseram um sistema automático de irrigação baseado em sensores de humidade do solo e temperatura, conectados a uma rede sem fio. O sistema activava a irrigação automaticamente quando os níveis de humidade caíam abaixo de um limite crítico. O estudo demonstrou redução significativa no consumo de água e aumento da produtividade.

2.2.2. Estudo de Aleksandrova (2018)

A autora examinou o impacto da IoT em práticas agrícolas sustentáveis. Destacou que, em países em desenvolvimento, a aplicação de IoT pode contribuir para a melhoria da segurança alimentar e a redução do desperdício de recursos. Aleksandrova argumenta que o custo da tecnologia tem diminuído significativamente, tornando-a acessível para pequenas explorações agrícolas.

2.2.3. Trabalho de Abba & Ferreira (2021)

No artigo “Sistemas Inteligentes de Irrigação no Contexto da Agricultura Familiar”, os autores exploram soluções de baixo custo baseadas em Arduino e sensores de solo. O sistema foi testado em pequenas propriedades e revelou-se eficaz na redução de custos com energia e água. Um dos destaques é a possibilidade de integração com *smartphones* para monitorização remota.

2.2.4. Manual da FAO (2020) – “Smart Irrigation – Efficient Water Management”

A FAO destaca a importância da irrigação inteligente para o alcance da segurança alimentar. O manual recomenda o uso de tecnologias como sensores de humidade, redes sem fio e plataformas de gestão de dados para melhorar a eficiência da irrigação. A FAO também sublinha que o acesso a essas tecnologias deve ser ampliado para pequenos agricultores, através de políticas públicas e projectos de desenvolvimento.

2.3. Funcionamento do Modelo de Monitoria

2.3.1. Raspberry Pi

O Raspberry Pi é um pequeno computador de bolso usado para fazer pequenas operações de computação e rede. É o principal elemento no campo da internet das coisas. Ele fornece acesso à internet e, portanto, a conexão do sistema de automação com o dispositivo de controlo de localização remota torna-se possível, Heath (2019).



Figura 1: Raspberry Pi 3B+

Fonte: Heath (2024)

2.3.1.1 Componentes principais (Modelo 3B+)

ARM CPU / GPU - Este é um sistema Broadcom BCM2835 em um chip (SoC) que é composto de uma unidade de processamento central (CPU) ARM e uma unidade de processamento gráfico

(GPU) Videocore 4. A CPU lida com todos os cálculos que fazem um computador funcionar (pegando dados, fazendo cálculos e produzindo resultados), e a GPU lida com a saída gráfica.

GPIO - Estes são pontos de conexão de entrada / saída de uso geral expostos que permitirão aos amadores do hardware real a oportunidade de mexer.

RCA - Um conector RCA permite a conexão de TVs analógicas e outros dispositivos de saídas similares.

Saída de áudio - Este é um conector padrão de 3,55 milímetros para conexão de dispositivos de saída de áudio, como fones de ouvido ou alto-falantes. Não há áudio em.

SB - Esta é uma porta de conexão comum para dispositivos periféricos de todos os tipos (incluindo o mouse e o teclado). O modelo A tem um e o modelo B tem dois. Pode usar-se um hub USB para expandir o número de portas ou conectar seu mouse ao teclado se ele tiver sua própria porta USB.

HDMI - Esse conector permite conectar uma televisão de alta definição ou outro dispositivo compatível usando um cabo HDMI.

Alimentação - Este é um conector de alimentação Micro USB de 5v no qual pode conectar-se uma fonte de alimentação compatível.

Entrada de cartão SD - Este é um slot de cartão SD de tamanho normal. Um cartão SD com um sistema operacional instalado é necessário para inicializar o dispositivo. Eles estão disponíveis para compra dos fabricantes, mas também pode baixar-se um sistema operacional e salvá-lo no cartão, se tiver uma máquina com Linux e os recursos necessários.

Ethernet - Este conector permite o acesso à rede com fio e só está disponível nos Modelos B.

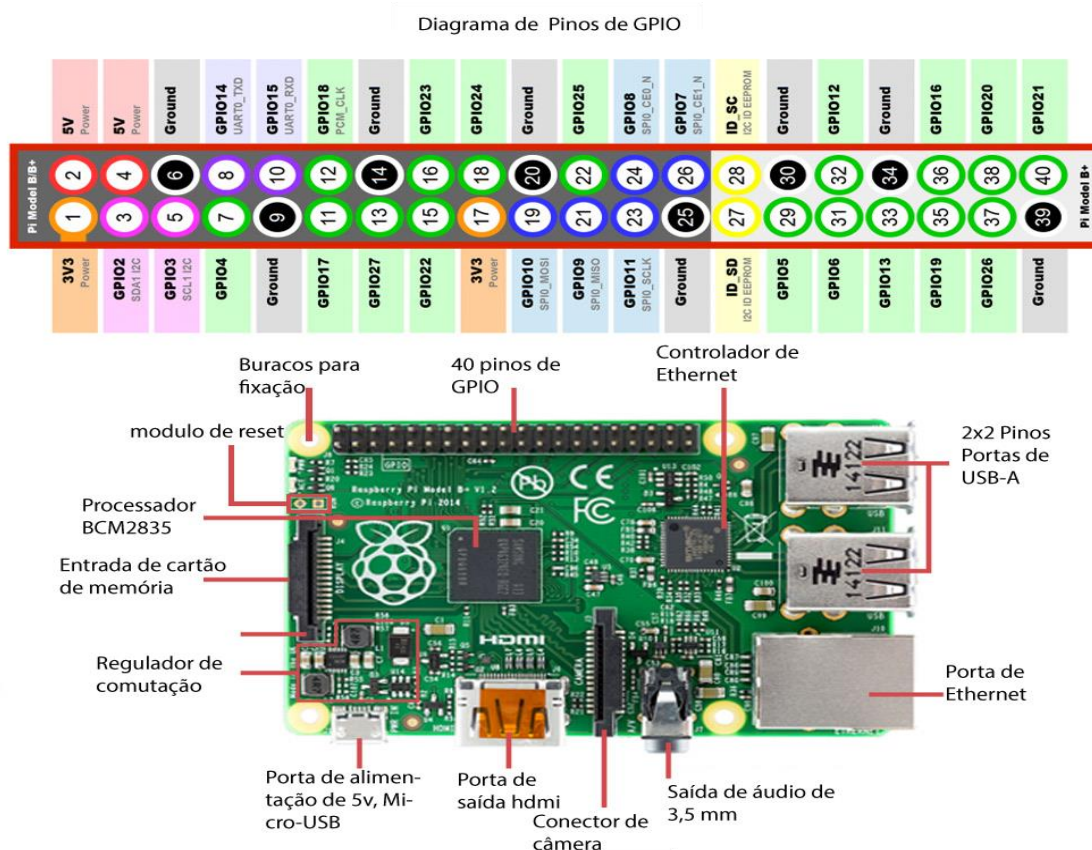


Figura 2: Diagrama de pinos e partes constituintes de Raspberry Pi 3B+

Fonte: Heath (2024)

2.3.1.2 Raspberry Pi versus Arduino

Existem muitas plataformas que podem ser usadas para desenvolver projectos de Informática no geral e IoT em particular. As mais destacadas são o Raspberry Pi e o Arduino em suas diferentes versões. Apesar de eles serem formalmente similares, existem peculiaridades funcionais que lhes distinguem e direccionam cada um deles em caminhos diferentes no que concerne ao tipo de aplicação.

Um Arduino é uma placa-mãe com microcontrolador. Um microcontrolador é um computador simples que pode executar um programa de cada vez, uma e outra vez. É muito fácil de usar. O Raspberry Pi é um computador de uso geral, geralmente com um sistema operacional Linux, e a capacidade de executar vários programas. É mais complicado de usar do que um Arduino.

Uma placa Arduino (em todas suas versões) é melhor usada para tarefas repetitivas simples: abrir e fechar a porta da garagem sem fios, ler sensores e reportá-la a um servidor na nuvem ou *Twitter*, comandar um robô simples, interruptores baseados em toque ou automação residencial., Luzes de Noite Accionadas por Movimento, construir um Braço Robotizado, Controlo Remoto Infravermelho para TV, etc.

Enquanto Raspberry Pi é melhor usado quando é necessário um computador portátil completo: dirigindo um robô mais complicado, executando várias tarefas, criptografando os dados para armazenamento, processamento de imagem, sua própria cabine fotográfica, câmera de segurança sem fio (para sistema de vigilância em casa), Uma consola de jogos antigos, uma biblioteca de livros electrónicos digitais portáteis ou a criação de projectos baseados na automatização de voz (utilizando o Alexa ou o *google assistant*), etc. A tabela 1, estabelece um panorama comparativo entre o Raspberry Pi 3B+, usado no presente projecto e o Arduino Mega (a versão mais robusta da família – melhor se aproxima a qualquer forma de comparação com o Raspberry Pi).

Tabela 1: Comparação entre Arduino Uno e Raspberry Pi

	Arduino Mega	RaspberryPi Modelo 3B+
Preço (Mt)	2,500.00	3,300.00
Memória (MB)	0.008	1024
Velocidade de Clock (MHz)	16	700
Placa de Rede Embutida	Nenhuma	• Gigabit Ethernet; • 2.4GHz e 5GHz 802.11b/g/n/ ac Wi-Fi. • Bluetooth 4.2
Multitarefa	Não	Sim
Tensão de Entrada	7 à 12 V	5V
Flash	32KB	Cartão de Memória (2 à 128GB)
Sistema Operativo	Nenhum	Distribuições Linux

Fonte: Heath (2024)

Para aplicações de IoT, como o sistema de irrigação e de monitorização da agricultura o ideal é o uso do Raspberry Pi por possuir a possibilidade de armazenamento interno de bases de dados e capacidade de programar internamente sistemas robustos sem recursos externos (de rede, de processamento, etc).

2.3.1.3. ESP8266

NodeMCU é a plataforma de desenvolvimento que contém o microcontrolador ESP32 e ESP8266. Esta placa é composta pelo chip ESP32 ou ESP8266, interface usb-serial, antena embutida e um regulador de tensão, podendo ser alimentada por uma tensão mínima de 4,5V e máxima de 9V.

O ESP8266 possui muito recurso que o torna ideal para a IoT, dado que a presença de mais periféricos permite a sua integração com mais dispositivos. Dentre as interfaces de comunicação, ele possui suporte a SPI, UART e I2C, como também tem suporte a Infravermelho (IR) e SDIO (para interface com cartão de memória), e como diferenciação recente, CAN, Ethernet, DAC, Sensor de Toque, e I2S, que é uma interface de comunicação útil para comunicar com dispositivos de áudio. Possui também hardware para aceleração de criptografia embutido.

Em termos de conectividade sem fio, o ESP8266 possui Bluetooth 4.2 para se implementar o BLE (modo de baixo consumo), além do módulo WI-FI. Além de capacidade de memória interna SRAM de 520 KB e processador Tensilica Xtensa 32-bit LX6 de 240 MHz, em termos de segurança, possui conectividade IEEE 802.11 com suporte a protocolos de segurança WFA, WPA/WPA2 and WAPI, Boot seguro e Criptografia de Flash, com aceleração de Criptografia em Hardware.

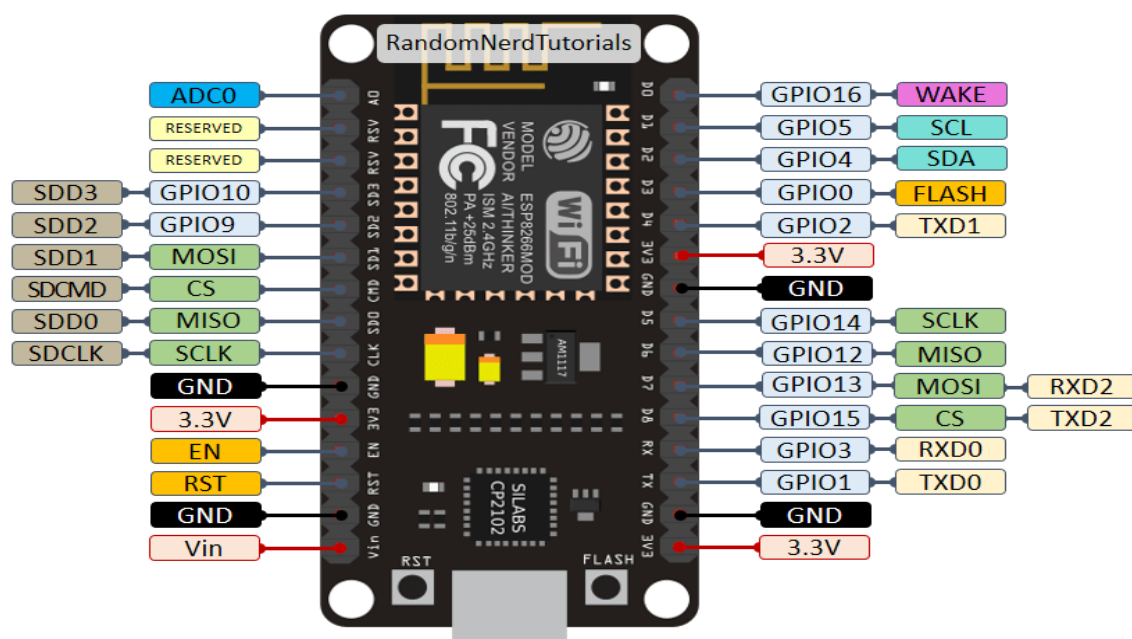


Figura 3: Diagrama de Pinos do ESP8266

Fonte: randomnerdtutorials.com

2.3.1.4. IDE Arduino

A IDE Arduino, é um software de código aberto utilizado no desenvolvimento da programação de qualquer placa Arduino, e também de alguns outros microcontroladores, tais como os da família ESP. Este ambiente possui uma gama de exemplos de códigos para leitura de dados dos sensores e botões, accionamentos de portas digitais e comunicação serial. O uso do software citado é simples, primeiramente é necessário realizar a configuração do modelo da placa a ser utilizada, depois selecciona-se a porta serial virtual do dispositivo conectado ao computador e por fim transfere-se o programa para o hardware por meio do botão carregar.

2.3.2. Sensor ultra-sónicos

Os sensores de proximidade ultra-sónicos são dispositivos versáteis que podem ser utilizados em diversas aplicações de automação. Eles permitem a detecção precisa, flexível e confiável de objectos com diferentes materiais, formas, cores e texturas, sem a necessidade de contacto físico. Suas aplicações abrangem a detecção de nível e altura, medição de separação, medição de diâmetro em bobinas, contagem de objectos, mesmo em ambientes sujos, com vapores ou em estados líquidos.

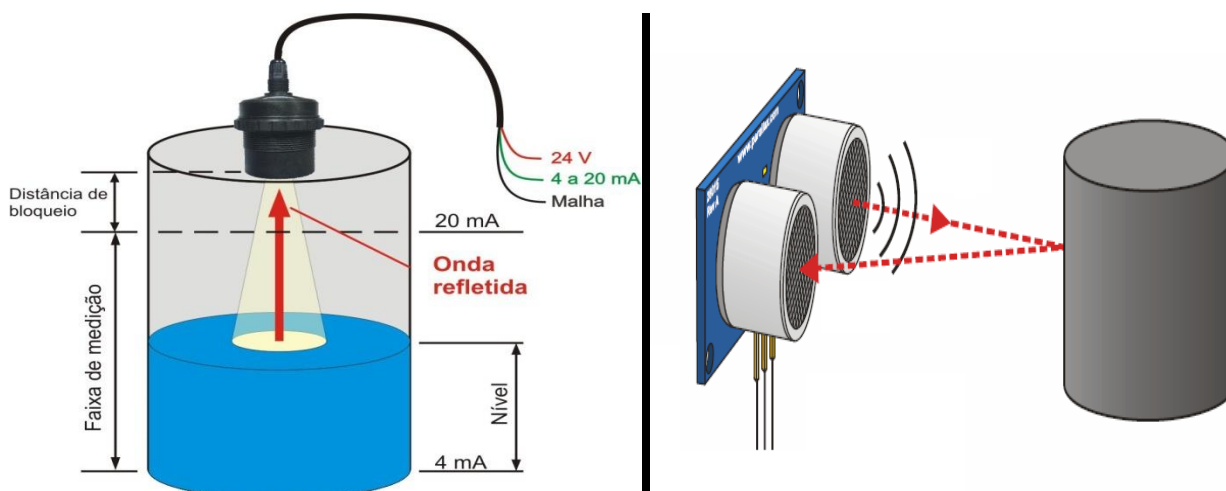


Figura 4: Modelo ilustrativo da proposta de Sensor ultra-sonicos

Fonte: www.forretas.com

A detecção do eco incidente, depende de sua intensidade e esta da distância entre o objecto e o sensor ultra-sónico. Os sensores ultra-sónicos funcionam medindo o tempo de propagação do eco. Isto é, o intervalo de tempo medido entre o impulso sonoro emitido e o eco do mesmo. A construção do sensor faz com que o feixe ultra-sónico seja emitido em forma de um cone. Os sensores de proximidade das séries compactas M30 K2, M30 K3 e M18 estão equipados com sensores de temperatura e circuito de compensação para corrigir as mudanças de distância de

trabalho causados por flutuações da temperatura. Sincronização Nas séries compactas M30 K2, M30 K3 e M 18 é possível sincronizar vários sensores; para isso basta com interligar as saídas de sincronização dos mesmos. É possível sincronizar até 10 sensores (ou 6 nos casos da série compacta 0). Isto permite que os sensores possam ser instalados muito próximos uns dos outros, sem causar interferência mútua.

Programação:

- Para programar os sensores das séries compactas M18, M30 K2 e M30 K3;
- Alguns dos valores que se podem ajustar são: princípio e fim da área de trabalho, princípio e fim da área analógica;
- Alteração da Histerese (Retardo);
- Média;
- Modo multiplex;
- Alteração NA / NF

2.3.3 Acumulador de energia solar

Um acumulador de energia solar é um dispositivo composto por painel solar e um sistema de armazenamento de energia. O dispositivo contém células fotovoltaicas que captam a luz do Sol e converte a respectiva energia em corrente eléctrica. Por sua vez, a energia eléctrica é armazenada para o uso fora de hora-de-pico. O acumulador de energia solar será a fonte de alimentação dos diferentes dispositivos agregados ao nó fornecendo uma tensão de 5 Volts, suficiente para pôr a trabalhar todos módulos. O uso desse dispositivo é especialmente crucial porque garante a auto-sustentabilidade do sistema providenciando ao mesmo funcionamento ininterrompível sem depender da rede eléctrica.



Figura 5: Acumulador de Energia Solar;

Fonte: www.potentiallabs.com

2.3.4 Sensor de presença

O sensor infravermelho passivo é um sensor electrónico que mede a luz infravermelha que irradia dos objectos em seu campo de detecção, este sensor foi usado para detectar movimentos de pessoas e, através de um *buzzer*, espantá-los, para prevenir que estes danifiquem o sistema e pode detectar alterações na quantidade de radiação infravermelha que incide sobre ele, que varia de acordo com a temperatura e as características da superfície dos objectos na frente do sensor. Quando um objecto, como um pessoa, passa em frente ao sensor, aumenta da temperatura ambiente para a temperatura do corpo e depois volta novamente. O sensor converte a alteração resultante na radiação infravermelha recebida em uma alteração na tensão de saída, e isso acciona a detecção.



Figura 6: Sensor de Presença

Fonte: es.aliexpress.com

2.3.5 Buzzer

O *buzzer* é um dispositivo de sinalização de áudio amplamente utilizado, especialmente como um alarme de sinalização. Sua faixa de frequência mais sensível varia entre 1 e 4kHz, com pequenas variações dependendo do tipo de buzzer. Os *buzzers* são capazes de emitir altas frequências com potências de até 80 dB, o que os torna eficazes para assustar intrusos e alertar a comunidade sobre situações de perigo. Essas características fazem do *buzzer* uma opção popular para fins de segurança e sinalização sonora.



Figura 7: Buzzer

Fonte: www.potentiallabs.com

2.3.6 LED

O LED é um componente electrónico semiconductor, composto de cristal semiconductor de silício ou germânio. O LED possui a mesma tecnologia usada em chips de computadores, que possuem a capacidade de transformar energia em luz.



Figura 8. LED

Fonte: <https://www.reichelt.com/>

2.3.7. Sensor de humidade do solo

O sensor de humidade do solo usa capacitância para medir a permissividade dielétrica do meio circundante. No solo, a permissividade dielétrica é uma função do teor de água. O sensor cria uma tensão proporcional à permissividade dielétrica e, portanto, o conteúdo de água do solo e calcula a média do conteúdo de água em todo o comprimento do sensor. Há uma zona de influência de 2 cm em relação à superfície plana do sensor, mas tem pouca ou nenhuma sensibilidade nas bordas extremas. O sensor de humidade do solo é usado para medir a perda de humidade ao longo do tempo devido à evaporação e absorção da planta e monitorar o teor de humidade do solo para a irrigação. Sendo assim, se a humidade do solo for menor a um valor de corte (5%), a irrigação é feita e é interrompida quando atingir um valor satisfatório (80%).

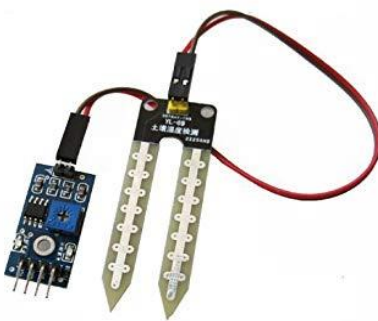


Figura 9: Sensor de humidade do solo

Fonte: www.tindie.com

2.3.8. Sensor de humidade e temperatura

Um sensor de humidade detecta, mede e reporta regularmente a humidade relativa e temperatura do ar dos ambientes imediatos em que são colocados, com raio de até 20 m. A humidade relativa, expressa em percentagem, é a relação entre a humidade real do ar e a maior quantidade de humidade que a temperatura pode suportar. Quanto mais quente o ar, mais humidade ele pode conter, então a humidade relativa do ar muda com as flutuações de temperatura. Ele usa medições capacitivas para determinar a quantidade de humidade no ar. Este tipo de medição depende de dois condutores eléctricos com uma película de polímero não condutora que se estabelece entre eles para criar um campo eléctrico entre eles. A humidade do ar se acumula no filme e causa mudanças nos níveis de voltagem entre as duas placas. Esta alteração é então convertida em uma medição digital da humidade relativa do ar, depois de levar em conta a temperatura do ar.

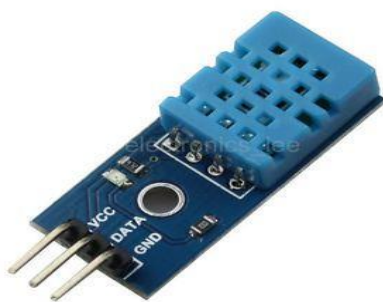


Figura 10: Sensor de Humidade e Temperatura

Fonte: www.potentiallabs.com

2.3.9. Circuito 555

Projectado para reunir funções muito usadas de maneira muito simples, exigindo poucos periféricos o circuito integrado 555 é a solução ideal para uma infinidade de projectos que exigem temporizações até uma hora ou a produção de sinais até uns 500 kHz ou pouco mais.

O circuito integrado 555, ou "555" como é popularmente conhecido, é fabricado por inúmeras empresas tradicionais de circuitos integrados que normalmente agregam ao número 555 símbolos adicionais que permitem a identificação de sua procedência.

Assim, pode-se ter siglas como NE555, LM555, uA55, etc. que indicam qual é o fabricante do componente como a Signetics (que o criou), National, Texas, Fairchild, etc. O 555 pode ser encontrado em diversos tipos de invólucros, mas o mais comum e portanto mais utilizado é o DIL (Dual In Line) de 8 pinos, conforme mostra a figura 11.

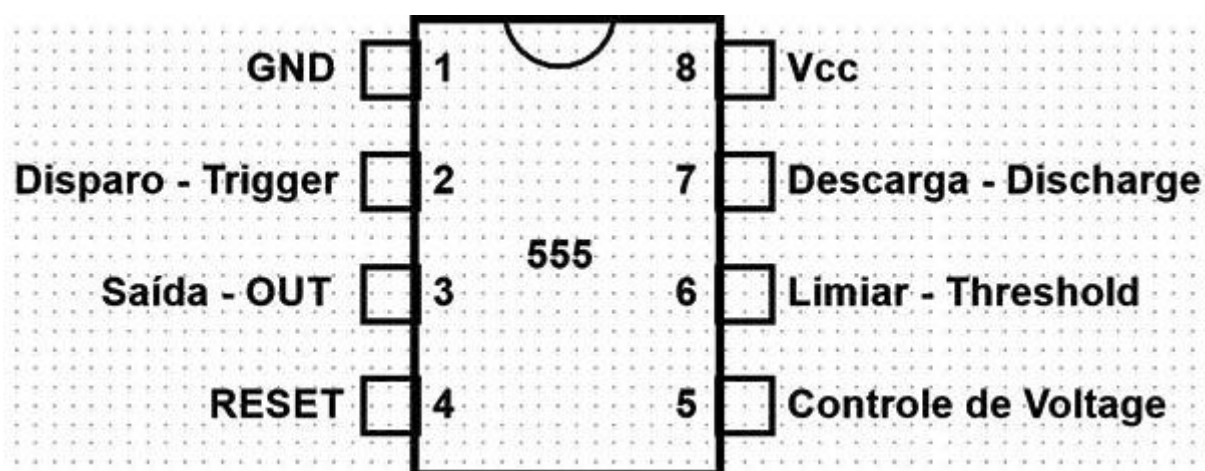


Figura 11.Circuito 555

Fonte: www.newtoncbraga.com.br

3. METODOLOGIA

A metodologia representa o caminho seguido para alcançar os objectivos do estudo. Envolve a selecção das técnicas, instrumentos e procedimentos que orientam tanto a pesquisa teórica quanto o desenvolvimento prático do projecto.

Existem diversas metodologias utilizadas em investigações científicas, tais como qualitativas, quantitativas, exploratórias, descritivas, experimentais, entre outras. A escolha da metodologia adequada depende da natureza do problema, dos objectivos e dos resultados esperados.

3.1. Metodologia de Pesquisa

A presente pesquisa é de carácter aplicado, exploratório e qualitativo, com suporte de dados quantitativos. Trata-se de um estudo de caso focado na implementação de um sistema inteligente de irrigação baseado em IoT para apoiar a agricultura no perímetro do Baixo Limpopo.

Etapas metodológicas:

- Levantamento bibliográfico sobre conceitos de IoT, irrigação inteligente e agricultura de precisão;
- Estudo de caso da instituição agrícola-alvo;
- Identificação de requisitos funcionais e não funcionais do sistema;
- Prototipagem e modelagem de um sistema de irrigação inteligente;
- Validação teórica da proposta com base em *benchmarks* de estudos anteriores.

3.2. Metodologia de Concepção

Para o desenvolvimento da solução tecnológica, foi usada uma metodologia de prototipagem evolutiva, que permite criar e melhorar o sistema por meio de ciclos iterativos. Esta abordagem é adequada por permitir testes e ajustes constantes, facilitando a adaptação à realidade do agricultor local.

Ferramentas e tecnologias previstas:

- Arduino UNO ou ESP32 como microcontrolador;
- Sensores de humidade do solo e temperatura (DHT11, YL-69);
- Módulo de comunicação (Wi-Fi ou GSM);
- Interface de monitorização via aplicação web ou móvel;
- Fontes de energia solar para operação sustentável.

3.3. Classificação da Pesquisa

A metodologia utilizada nesta monografia definiu as estratégias para a recolha, análise e interpretação dos dados sobre a viabilidade de um sistema de irrigação e monitoria inteligente baseado em IoT para pequenos agricultores do Baixo Limpopo.

3.3.1 Quanto à Natureza ou Finalidade

Este estudo classificou-se como uma pesquisa aplicada, pois visa propor uma solução tecnológica que pode ser aplicada ao contexto real dos pequenos agricultores. O objectivo principal foi analisar a viabilidade de um sistema de irrigação e monitorização baseado em IoT, fornecendo um modelo conceptual para futuras implementações.

3.3.2 Quanto ao Objectivo

A pesquisa teve um carácter exploratório e descritivo.

Exploratória, porque analisou os desafios da irrigação no Baixo Limpopo e investigou as potenciais soluções tecnológicas disponíveis.

Descritiva, porque detalhou os componentes do sistema proposto e apresentou um modelo conceptual, descrevendo as suas funcionalidades e possíveis impactos.

3.3.3 Quanto à Abordagem

A pesquisa adoptou uma abordagem qualitativa e quantitativa:

Qualitativa, pois analisou e interpretou informações sobre o contexto da irrigação na região e os desafios enfrentados pelos pequenos agricultores.

Quantitativa, pois considerou dados estatísticos sobre o custo e eficiência dos sistemas de irrigação tradicionais e a viabilidade económica da aplicação de IoT.

3.3.4 Quanto ao Método

O estudo utilizou o método dedutivo, partindo de princípios teóricos e tecnológicos sobre a Internet das Coisas (IoT) e a sua aplicação na irrigação para propor uma solução viável ao contexto do Baixo Limpopo.

3.3.5 Quanto aos Procedimentos

A pesquisa adoptou procedimentos bibliográficos e documentais, recorrendo a livros, artigos científicos, relatórios governamentais e estatísticas sobre:

- A irrigação em Moçambique e no Baixo Limpopo.
- As dificuldades enfrentadas pelos pequenos agricultores.
- A aplicação de IoT na agricultura.
- Modelos de sistemas de irrigação inteligentes.

3.4. População e Amostra da Pesquisa

3.4.1 População em Estudo

A população deste estudo abrangiu pequenos agricultores do Baixo Limpopo, que representam um grupo significativo dentro do sector agrícola moçambicano. Estes agricultores operaram pequenas explorações agrícolas, geralmente familiares, e enfrentam desafios na irrigação devido à escassez de recursos e à dependência de métodos tradicionais.

3.4.2 Amostra em Estudo

A amostra do estudo foi definida com base em análises de casos documentados sobre a irrigação no Baixo Limpopo. O estudo não envolveu a recolha de dados primários directamente junto aos agricultores, mas analisa dados secundários sobre:

- As práticas actuais de irrigação na região.
- Os desafios económicos e técnicos enfrentados pelos agricultores.
- As potenciais vantagens da adopção de um sistema de monitorização inteligente.

3.5. Instrumentos e Técnicas de Pesquisa

3.5.1 Instrumentos de Colecta de Dado

A pesquisa baseou-se em análise documental e revisão bibliográfica, utilizando fontes como:

- Relatórios do Ministério da Agricultura e Segurança Alimentar (MASA).
- Estudos da FAO sobre irrigação em Moçambique.
- Artigos científicos sobre IoT aplicada à agricultura.

3.5.2 Técnicas de Pesquisa

As técnicas utilizadas incluíram:

- Pesquisa bibliográfica, analisando literatura científica relevante.
- Análise documental, considerando relatórios oficiais sobre irrigação no Baixo Limpopo.
- Estudo comparativo, avaliando os custos e benefícios de sistemas de irrigação tradicionais e inteligentes.

3.6. Considerações Éticas

O estudo respeita princípios éticos, pois não envolve contacto directo com participantes nem recolha de dados pessoais. Todas as informações utilizadas provêm de fontes públicas e acessíveis, garantindo o respeito pelos direitos autorais e a integridade das informações analisadas.

3.6.1 Limitações

As principais limitações deste estudo foram:

- Ausência de dados primários obtidos directamente dos agricultores, baseando-se apenas em fontes documentais.
- Falta de testes práticos do sistema proposto, uma vez que o estudo foca-se na sua conceptualização e não na implementação.
- Possível desactualização de alguns dados secundários, devido à escassez de estudos recentes sobre a irrigação no Baixo Limpopo.

3.6.2 Critérios de Inclusão

Foram considerados estudos e documentos que:

- Abordam a irrigação no Baixo Limpopo e em Moçambique.
- Analisam a aplicação de IoT na agricultura.
- Fornecem dados estatísticos sobre o custo e eficiência da irrigação.

3.6.4 Critérios de Exclusão

Foram excluídos documentos que:

- Não possuem relevância directa para a irrigação e a IoT na agricultura.
- Não apresentam fontes confiáveis ou dados verificáveis.
- Focam-se exclusivamente em grandes explorações agrícolas, sem relação com pequenos agricultores.

4. DESCRIÇÃO DA INSTITUIÇÃO

A presente investigação foi aplicada junto a uma organização agrícola operando na região do Baixo Limpopo, em Moçambique. Esta zona é considerada uma das mais importantes do país em termos de produção agrícola, mas enfrenta diversos desafios estruturais.

4.1. Como Organização

A instituição alvo é uma cooperativa agrícola local, composta por pequenos produtores que cultivam arroz, hortícolas e leguminosas. A organização é semi-formal, possui uma estrutura básica de gestão e apoia os produtores com sementes, irrigação e escoamento da produção.

4.2. Missão

“Contribuir para a segurança alimentar da região do Baixo Limpopo, através do fortalecimento da produção agrícola familiar sustentável, com uso eficiente dos recursos naturais.”

4.3. Visão

“Ser referência em práticas agrícolas sustentáveis e inovadoras em Moçambique, com uso de tecnologias apropriadas e acessíveis aos pequenos agricultores.”

4.4. Valores

- Sustentabilidade ambiental
- Inclusão e valorização do agricultor
- Inovação e uso responsável da tecnologia
- Cooperação e solidariedade no trabalho
- Compromisso com a comunidade local

4.5. Desafios

A instituição enfrenta diversos desafios, entre os quais se destacam:

- Escassez de água durante a estação seca;
- Perdas de produção devido à irrigação ineficiente;
- Baixo acesso à tecnologia por parte dos agricultores;
- Dependência da chuva como principal fonte de irrigação;
- Falta de monitorização em tempo real das condições do solo e do clima.

4.6. Necessidade de Informação na Instituição

A instituição carece de sistemas de apoio à decisão baseados em dados. Os agricultores tomam decisões com base na experiência empírica, o que leva, muitas vezes, a irrigações desnecessárias ou tardias. As principais necessidades de informação incluem:

- Nível de humidade do solo em tempo real;
- Dados sobre temperatura e previsões climáticas;
- Alarmes para irrigação automática;
- Relatórios de consumo de água e eficiência do sistema;
- Interface simples para interação com o sistema.

4.7. Requisitos do Projecto

4.8.1. Requisitos Funcionais

- O sistema deve monitorar em tempo real a humidade do solo e a temperatura ambiente;
- O sistema deve ativar automaticamente a irrigação quando a humidade estiver abaixo do valor definido;
- O sistema deve permitir ajuste de parâmetros (limites de irrigação, tempo de funcionamento);
- O sistema deve enviar notificações ou alertas ao agricultor;
- O sistema deve apresentar uma interface amigável (web ou móvel).

4.8.2. Requisitos Não Funcionais

- O sistema deve ser baixo custo e energeticamente eficiente (preferencialmente alimentado por energia solar);
- O sistema deve possuir alta disponibilidade e resiliência ao ambiente externo (chuva, calor);
- O sistema deve utilizar componentes modulares e de fácil substituição;
- A interface deve estar em língua portuguesa e ser intuitiva para agricultores com baixa escolaridade digital;
- O sistema deve ser escalável, permitindo incluir novos sensores no futuro.

5. MODELAÇÃO DO PROJECTO

5.1. Visão Geral do Sistema

O sistema de irrigação e monitoria inteligente da agricultura foi desenvolvido tendo em conta as potencialidades agrícolas do Distrito de Chókwè. Como referido nos capítulos anteriores, em sua região arável, entre outras culturas a sua potencialidade reside nas hortícolas. Por conseguinte, o sistema foi dimensionado com o objecto de estudo as hortícolas crucíferas (couve-flor, couve, brócolos, repolho, entre outros).

Para a execução da irrigação e monitorização propriamente dita, é usado um sistema baseado em células e nós. Cada nó representa e é responsável por uma área específica da plantação – uma célula – que é estimada em 200 m². Uma bomba de água comum faz o transporte de água do rio aos nós da plantação. A irrigação é baseada no sensoramento da humidade do solo – a célula será irrigada se e somente se a humidade do solo for baixa. Assim, faz-se a irrigação de precisão, providenciando ao solo água em áreas específicas consoante a necessidade. O sistema providencia ao agricultor um controlo do estado da plantação através de estatísticas em tempo-real de parâmetros relativos ao solo colectados por diferentes sensores. A leitura de tais dados é feita em dispositivos terminais como computadores, tablets e telemóveis. É facultado, ainda, ao agricultor a possibilidade de ter a previsão meteorológica e notificações em caso de incêndios.

5.2. Diagrama de Blocos

Um diagrama de blocos é a representação gráfica de um sistema complexos em blocos de funções ou estágios, onde são definidas as interações entre as diferentes partes do sistema através de relações de entradas, saídas e direcções de fluxo de informação.

O sistema de AI, é composto por 4 sensores conectados ao controlador, cuja função é de transmitir ao controlador as leituras obtidas. Estas informações são, por conseguinte, transferidas ao broker Mosquitto, que envia ao Node-RED para o processamento de informação. Tanto o Mosquitto quanto o Node-RED estão instalados no computador Raspberry Pi. O Node-RED faz o processamento de informação e retorna ao broker em rotas definidas em forma de tópicos. A informação processada é reencaminhada para os actuadores conectados ao controlador e o Terminal para a visualização por parte do usuário.

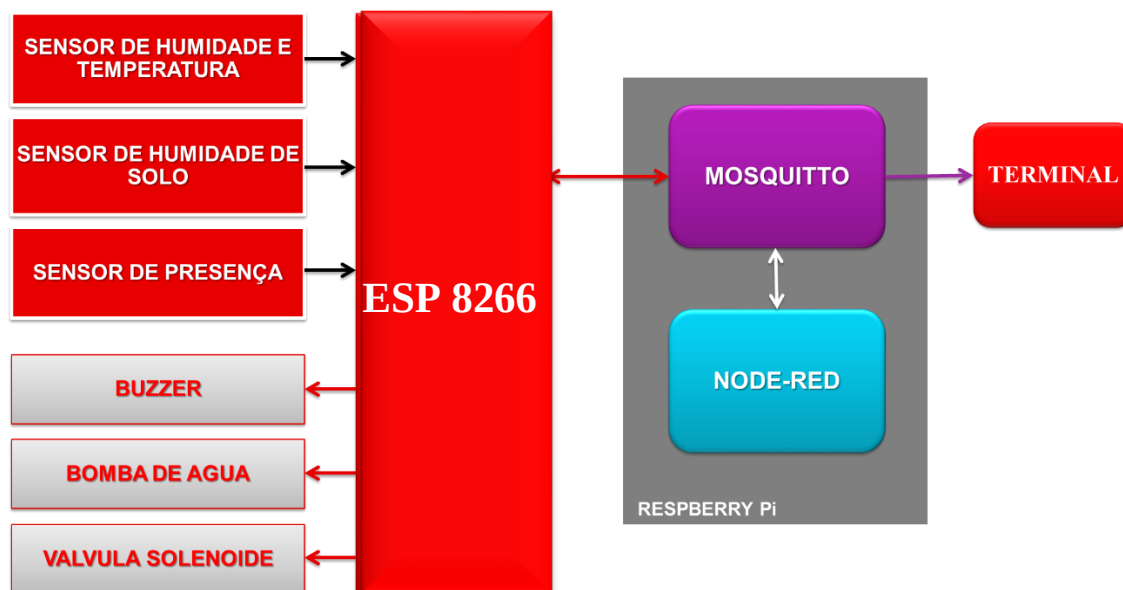


Figura 12:Diagrama de Blocos do Sistema

Fonte: O autor (2025)

5.3. Fluxograma

Um fluxograma é um tipo de diagrama que representa um fluxo de trabalho ou processo. O fluxograma também pode ser definido como uma representação diagramática de um algoritmo, uma abordagem passo a passo para resolver uma tarefa. São utilizados para documentar, estudar, planejar, melhorar e comunicar processos complexos por meio de diagramas claros e fáceis de entender. A Figura 13 ilustra o fluxograma do sistema.

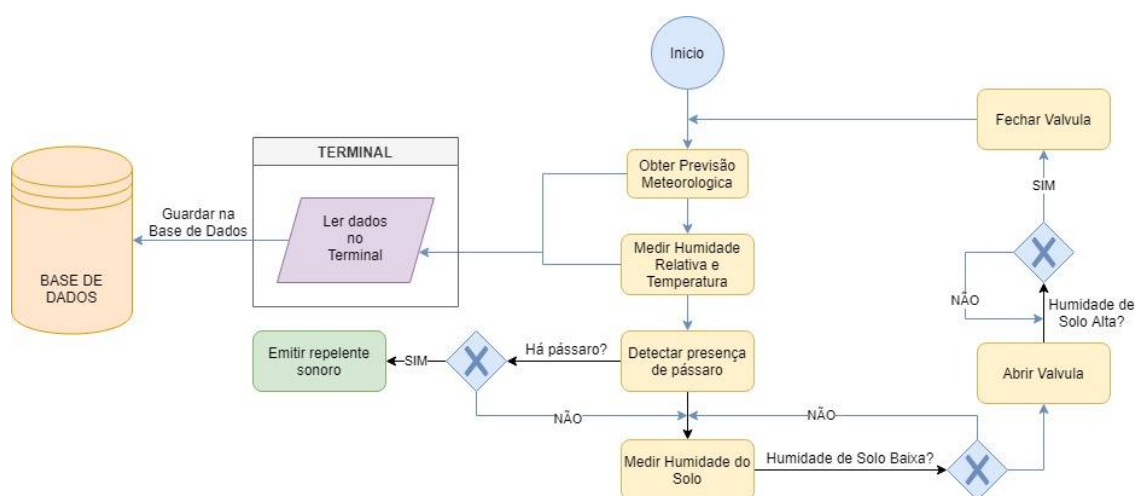


Figura 13: Fluxograma do Sistema

Fonte: O autor (2025)

5.4. Estrutura da rede projectada

A estrutura da rede patente no sistema apresenta uma topologia em estrela. Uma rede em estrela consiste em um nó de gateway no qual todos os outros nós (os nós dos sensores) na rede estão vinculados. Esse gateway central actua como um ponto de conexão comum para todos os outros nós da rede, tanto os de sensores como os de controle (o Raspberry Pi). Todos os nós periféricos podem assim se comunicar com todos os outros transmitindo e recebendo apenas do gateway. Um exemplo dessa topologia é o router de rede WiFi doméstica. O gateway também permite o link para o mundo exterior.

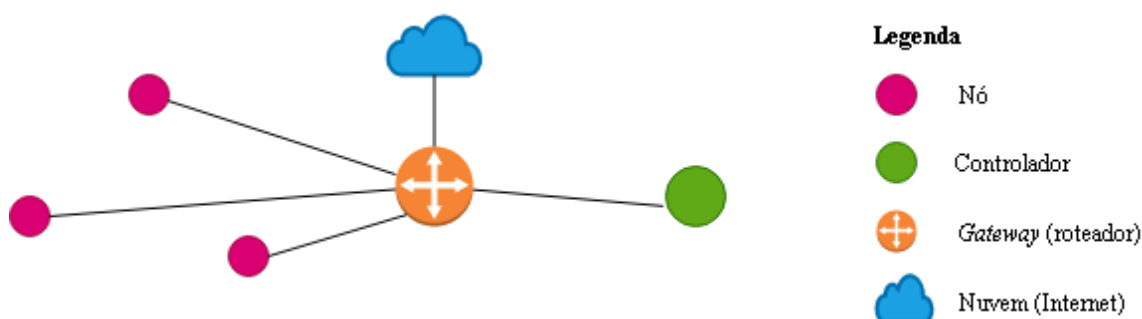


Figura 14:: Topologia da rede, em estrela

Fonte: O autor (2025)

5.5. Dimensionamento do sistema

Cada nó será composto um sensor de humidade do solo, um sensor de presença, um sensor de humidade relativa do ar e temperatura, uma válvula solenóide, um acumulador de energia solar e um microcontrolador transceptor de dados Esp8266.

O Sistema de irrigação e monitorização inteligente da agricultura foi desenhado para poder ser empregue em plantações de pequeno e médio porte. Com isto, quer-se dizer que para o sistema ser totalmente funcional, sem recursos adicionais, o raio a partir do ponto de acesso (roteador) até ao nó mais distante da plantação não pode ser superior a 90 metros. Com este raio podemos projectar uma plantação de 1 hectare (10 000 m²). Esta estimativa (90m) é baseada no padrão de comunicação utilizado no sistema – O IEEE 802.11, ou seja, Wi-Fi. A especificidade da rede Wi-Fi que dita o valor máximo de 90 metros é o alcance.

O alcance do sinal da rede Wi-Fi depende primária, mas não exclusivamente, do tipo de ponto de acesso usado. Factores que determinam o alcance máximo do sinal incluem o protocolo específico

executado, a potência do dispositivo de transmissão e a natureza das obstruções físicas e/ou da interferência de rádio na área circundante. Em regra geral, os roteadores domésticos Wi-Fi operando na tradicional faixa de 2,4 GHz alcançam até 46 metros em ambientes internos e 92 m em ambientes externos. Finalmente, a distância em que alguém pode se conectar a um ponto de acesso varia de acordo com a orientação da antena. Além disso, alguns pontos de acesso utilizam antenas direccionais que permitem maior alcance em áreas que a antena está apontando, mas com alcance mais curto em outras áreas (Mitchell, 2019).



Figura 15: Dimensões da plantação

Fonte: Google Earth (2025)

O Esp8266, transceptor de dados usado, funciona com recurso a rede Wi-Fi para enviar dados e receber comandos, portanto, o nó mais distante tem que estar dentro dos 90 metros. O alcance pode ser aumentado se for incorporado no meio da plantação um roteador em funções similares a de uma 'repetidora'.

5.5.1. Célula e a área de cobertura de um nó

Uma célula e a área de cobertura de um nó. O seu dimensionamento foi feito duma maneira mais deliberativa, pois o cálculo da quantidade de água para a irrigação é independente das dimensões da célula. Como referência, foram usados alcances máximos de alguns sensores que é para a maior cobertura dos mesmos em cada célula. O DHT11 tem um alcance máximo de 20 metros de raio e o Sensor de chama utiliza os raios infravermelhos para o seu funcionamento, que podem alcançar 10 metros (ou mais, dependendo da potência em aplicações mais robustas). Esta estimativa foi usada como referência para a determinação de área de cobertura de cada nó. Sendo o raio de cada

nó de 10 metros, a área de cobertura de cada nó pode ser calculada recorrendo ao teorema de Pitágoras, como demonstrado a seguir.

Assumindo que $C1 = C2$ e que o diâmetro (hipotenusa) é de 20m, temos:

$$h^2 = C^2 + C^2 \leftrightarrow h^2 = 2 \cdot C^2$$

$$A = C^2 = \frac{h^2}{2} = \frac{20^2}{2} = 200 \text{ m}^2$$

Sendo assim, numa plantação de 1 hectare podem ser instalados 42 nós de irrigação efectiva.

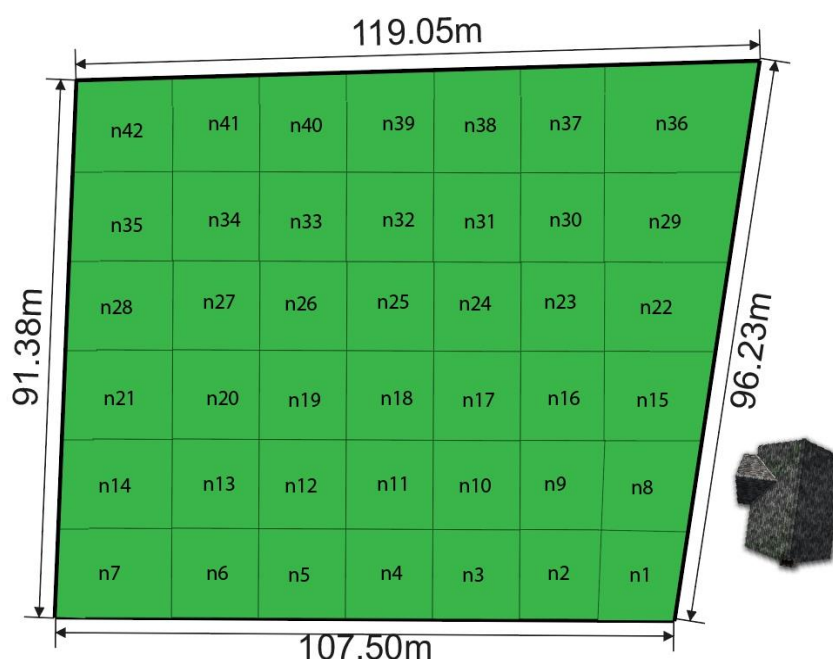


Figura 16: Disposição dos nós no sistema da plantaçaõ agrícola

Fonte: O autor (2025)

5.5.2. Quantidade de água necessária

Para uma programação efectiva do sistema, o cálculo da quantidade de água necessária para a irrigação é de carácter indispensável. Com tais dados podemos saber e programar quando a bomba de água deve estar em funcionamento e quando ela deve parar. Uma irrigação constante baseada em períodos de tempo é altamente ineficiente do ponto de vista da necessidade de água para cada cultura e do ponto de vista dos custos em energia. Portanto, a irrigação tem que ser feita baseada na necessidade de água de cada cultura, sendo neste caso em particular, o repolho.

A água para irrigação pode ser fornecida através da irrigação, da chuva ou da combinação dos dois factores. Em alguns casos, parte da necessidade de água é suprida pela água subterrânea através do aumento capilar. Para o propósito deste trabalho, no entanto, a contribuição do aumento capilar não é levada em consideração.

A FAO estima que o período de desenvolvimento do repolho em condições normais de clima tropica varia de 120 a 140 dias dependendo do local e época. Durante este período a necessidade hídrica varia de 350 a 500 mm como demonstra a tabela 2.

Tabela 2: Valores aproximados das necessidades hídricas sazonais

Fonte: FAO (1986)

Cultura	Necessidades hídricas de culturas (mm / período total de crescimento)
Tomate	400-800
Repolho	350-500
Feijão	300-500
Batata	500-700
Cebola	350-550

Geralmente a necessidade de água para cada cultura varia consoante a sua fase de desenvolvimento, mas com as crucíferas, a necessidade de água das culturas permanece a mesma durante as diferentes fases. As colheitas são colhidas frescas e, portanto, precisam de água até o último momento (FAO, 1986).

Sendo assim, podemos estimar a média diária de necessidade hídrica para esta cultura efectuando uma média aritmética.

$$N \text{ [mm/dia]} = \frac{N_t \text{ [mm]}}{t \text{ [dia]}}$$

No caso do repolho tem-se:

$$N \left[\frac{\text{mm}}{\text{dia}} \right] = \frac{500 \text{ mm}}{120 \text{ dias}} = 4.2 \text{ mm/dia}$$

Para este cálculo foram levadas em conta as condições extremas do crescimento do repolho, isto é, num cenário onde temos um menor período de desenvolvimento (120 dias) e maior necessidade de água (500 mm). Em quaisquer outras condições dentro dos parâmetros descritos pela FAO o valor diário de água requerida será efectivamente menor. Como mostra o cálculo da equação a seguir, são necessários 4.2 mm de água para irrigação.

No entanto, o volume de água necessário para irrigar diariamente 1 ha de repolho pode ser dado por:

$$V = 0.0042 \text{ m} \times 10\,000 \text{ m}^2 = 42 \text{ m}^3$$

De referir que o volume, similarmente à Necessidade diária, é um dimensionamento baseado em condições extremas e de baixa probabilidade, na ausência de chuvas em todo período, solo completamente seco e período de desenvolvimento maior que o estimado.

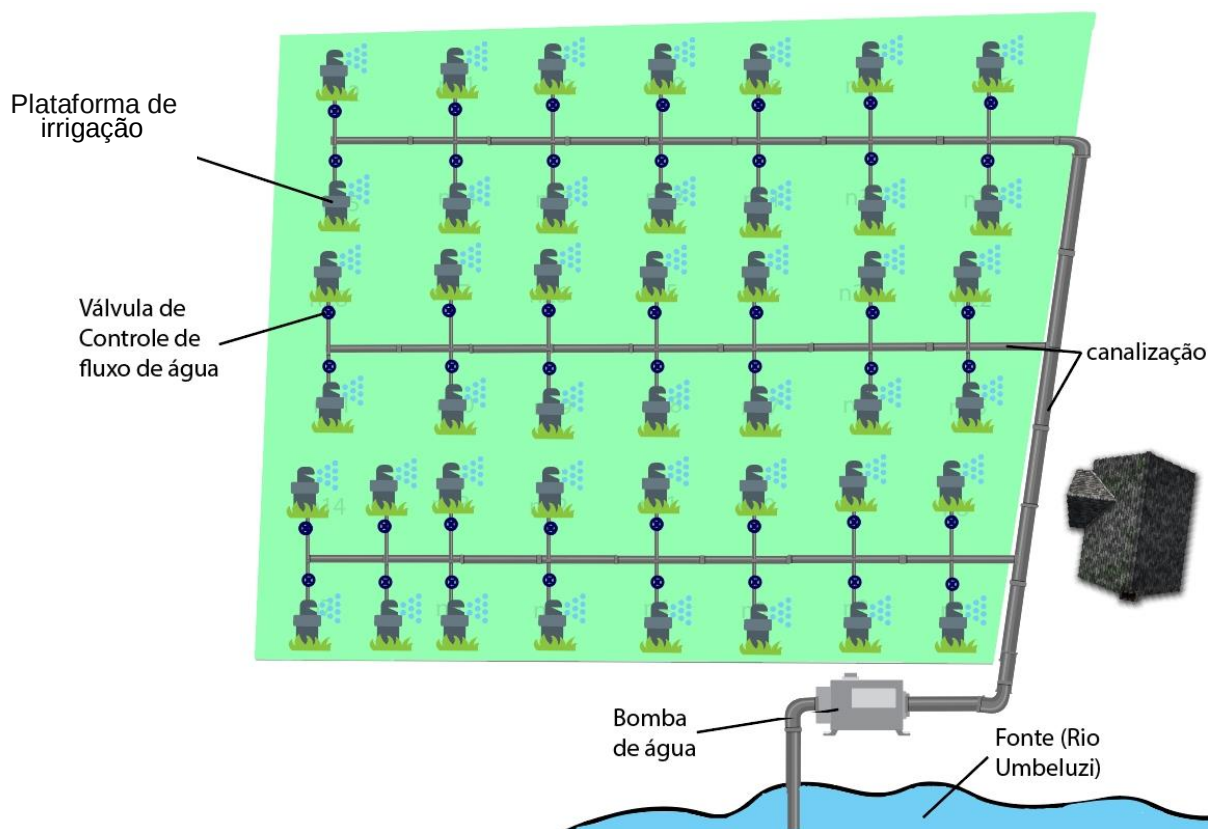


Figura 17: Disposição da canalização do sistema de irrigação

Fonte: O autor (2025)

5.5.3. Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o potencial significativo que a implementação de sistemas de irrigação e monitorização inteligentes, baseados em tecnologias de IoT (Internet of Things), pode ter para transformar a agricultura no distrito de Baixo Limpopo. A análise mostrou que o uso de sensores e plataformas digitais permite uma gestão mais eficiente da água, reduzindo desperdícios, aumento e melhoramento da produtividade das culturas e promoção de práticas agrícolas sustentáveis e resilientes.

Foi possível constatar que a integração de ferramentas tecnológicas no processo agrícola contribui para uma agricultura mais sustentável, produtiva e resiliente, respondendo aos desafios de escassez de água, mudanças climáticas e práticas agrícolas tradicionais pouco eficientes. Além disso, os resultados alinham-se com experiências internacionais que demonstram que a irrigação inteligente

pode aumentar significativamente a produção agrícola, reduzir custos operacionais e melhorar a tomada de decisões dos agricultores.

Este resultado reforça a importância de modernizar os sistemas de produção agrícola no Baixo Limpopo, garantindo maior segurança alimentar, uso racional dos recursos hídricos e desenvolvimento socioeconómico da região.

5.5.4. Conclusão

Com base nos objectivos propostos, conclui-se que a implementação de um sistema de irrigação e monitorização inteligente baseado em IoT constitui uma solução viável e eficiente para a modernização da agricultura no distrito de Baixo Limpopo contribuindo para a sustentabilidade e eficiência produtiva e melhora a gestão agrícola favorecendo a segurança alimentar.

O estudo também concluiu que com adopção desta tecnologia não só contribui para o aumento da produtividade agrícola, como também promove uma gestão sustentável dos recursos hídricos, elemento essencial para o desenvolvimento agrícola em regiões vulneráveis às variações climáticas.

A pesquisa reforça que a inovação tecnológica na agricultura é um factor estratégico para garantir segurança alimentar, reduzir perdas e aumentar a resiliência dos sistemas produtivos, tornando o sector mais competitivo e moderno.

Além disso, a conclusão reforça a relevância de políticas e acções integradas para garantir a adopção efectiva destas soluções tecnológicas.

5.5.5. Recomendações

Com base nas conclusões obtidas, recomenda-se:

1. Ao Governo e instituições agrícolas — Investir na expansão e implementação de sistemas de irrigação inteligentes no Baixo Limpopo, através de políticas públicas de incentivo à inovação tecnológica no campo.
2. Aos agricultores locais — Adquirir formação e capacitação técnica para a utilização eficiente dos sistemas de IoT, de modo a maximizar os benefícios desta tecnologia.
3. Às instituições de ensino e pesquisa — Fomentar projectos de extensão e investigação que aprofundem a aplicação de tecnologias emergentes no sector agrícola.

4. Aos parceiros de desenvolvimento — Apoiar iniciativas que promovam a agricultura inteligente e sustentável, através de programas de financiamento, assistência técnica e fornecimento de equipamentos modernos.
5. Para futuras pesquisas — Recomenda-se analisar o impacto económico e ambiental da implementação do sistema proposto a longo prazo, bem como a sua replicabilidade noutras regiões do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ada, L., & DiCola, T. (28 de Janeiro de 2014). Pir Motion Sensor. Obtido em 14 de Setembro de 2024, de Adafruit: <https://learn.adafruit.com/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor/overview>
- Aleksandrova, M. (2018). IoT in Agriculture: 5 Technology Use Cases for Smart Farming. Obtido em 5 de Março de 2025, de Eastern Peck: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-5-technology-use-cases-for-smart-farming-and-4-challenges-to-consider/>
- Arnfield, A. J. (s.d.). Köppen climate classification. Obtido em 3 de Junho de 2025, de Encyclopaedia Britannica: <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification/World-distribution-of-major-climatic-types>
- B. do Curto. (20 de Novembro de 2018). Tutorial Node-RED para Esp8266. Obtido em 16 de Agosto de 2024, de Curto Circuito: <https://www.curtocircuito.com.br/blog/Esp8266:-node-red-editor-de-fluxo-on-line/>
- FAO. (1986). Crop Water Needs. Em FAO, Irrigation Water Needs (Vol. III). Brouwer, C.; Heibloem, M. Obtido em 16 de Agosto de 2024, de <http://www.fao.org/3/s2022e/s2022e02.htm#2.4%20determination%20of%20crop%20water%20needs>
- FAO. (1993). FAO Soils Bulletin 69. Obtido em 31 de Julho de 2024, de <http://www.fao.org/3/T1696E/T1696e00.htm>
- Heath, N. (24 de Junho de 2019). Raspberry Pi: A Cheat Sheet. Obtido em 08 de Agosto de 2024, de techrepublic.com: techrepublic.com/article/raspberry-pi-the-smart-persons-guide
- IEEE. (2015). Towards a Definition of the Internet of Things. Obtido em 30 de Setembro de 2018, de IEEE Internet of Things: <https://iot.ieee.org/definition.html>
- INE. (2011). Censo Agro-Pecuário 2009-2010. Maputo. Obtido em 21 de Outubro de 2024, de <http://www.ine.gov.mz/operacoes-estatisticas/censos/censo-agro-pecuario/cap-2009-2010/censo-agro-2013-pecuario-2009-2013-2010-resultados-definitivos-2.pdf/>
- IoT Analytics. (08 de Agosto de 2018). State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating. (K. L. Lueth, Ed.) Obtido em 04 de Agosto de 2024, de [iot-analytics.com: https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/](https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/)

- Johnson, B. (s.d.). How the Raspberry Pi Works. Obtido em 05 de Agosto de 2019, de howstuffworks.com: <https://computer.howstuffworks.com/raspberry-pi2.htm>
- Maier, A., Sharp, A., & Vagapov, Y. (09 de Novembro de 2017). Comparative analysis and practical implementation of the ESP8266 microcontroller module for the internet of things. Internet Technologies and Applications (ITA). Obtido em 08 de Agosto de 2024, de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8101926>
- Malavade, V. N., & Akulwar, P. K. (2016). Role of IoT in Agriculture. National Conference On "Changing Technology and Rural Development, pp. 56-57. Obtido em 02 de Agosto de 2024, de <http://iotiran.com/media/k2/attachments/13.Z56-57.pdf>
- MASA. (2008). Conceito, Princípios e Estratégia de Revolução Verde em Moçambique. Maputo. Obtido em 21 de Outubro de 2024, de <https://pt.scribd.com/doc/73171381/Revolucao-verde>
- MASA. (2012). Estratégia de Irrigação. Obtido em 27 de Outubro de 2024, de <http://www.inir.gov.mz/files/2014-07/Estrategia%20de%20Irrigacao.pdf>
- Mitchell, B. (29 de Abril de 2019). The Range of a Typical Wi-Fi Network. Obtido em 12 de Agosto de 2024, de lifewire: <https://www.lifewire.com/range-of-typical-wifi-network-816564>
- Node RED. (2019). node-red-contrib-alexa-local . Obtido em 08 de Agosto de 2024, de <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-alexa-local>
- Patil, V., Al-Gaadi, K., Biradar, D., & Rangaswamy, M. (2012). Internet of Things (IoT) and Cloud Computing For Agriculture: An Overview. Agro-Informatics and Precision Agriculture, pp. 293-296. Obtido em 02 de Agosto de 2024, de <http://insait.in/AIPA2012/articles/054.pdf>
- Pivoto, D., Mores, G. V., Waquil, P. D., Talamini, E., Finocchio, C. P., & Corte, V. F. (2018). Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. Obtido em 06 de Novembro de 2024, de Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317316301184>
- Silva, E. L., & Menezes, E. M. (2005). Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação (4a ed.). Florianópolis. Obtido em 7 de Novembro de 2024

- Stack, T. (05 de Fevereiro de 2018). Internet of Things (IoT) Data Continues to Explode Exponentially. Who Is Using That Data and How? Obtido em 04 de Agosto de 2024, de Cisco.com: <https://blogs.cisco.com/datacenter/internet-of-things-iot-data-continues-to-explode-exponentially-who-is-using-that-data-and-how>
- Waher, P. (29 de Dezembro de 2015). MQTT (MQ Telemetry Transport). Obtido em 05 de Agosto de 2024, de IoT Agenda: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/MQTT-MQ-Telemetry-Transport>