



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
IFCE CAMPUS ARACATI
COORDENADORIA DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

RENATO ALVES DE OLIVEIRA

**PLANTE - UMA PLATAFORMA INTELIGENTE PARA O
MONITORAMENTO E IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA**

**ARACATI-CE
2020**

RENATO ALVES DE OLIVEIRA

PLANTE - UMA PLATAFORMA INTELIGENTE PARA O MONITORAMENTO E
IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE - Campus Aracati, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientadora: Profa. Dra. Carina Teixeira de Oliveira

Coorientador: Prof. Esp. Felipe Bastos Nunes

Aracati-CE
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O48p Oliveira, Renato Alves de.
PLANTE - UMA PLATAFORMA INTELIGENTE PARA O MONITORAMENTO E IRRIGAÇÃO
AGRÍCOLA / Renato Alves de Oliveira. - 2020.
60 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal do Ceará, Bacharelado em Ciência da
Computação, Campus Aracati, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Carina Teixeira de Oliveira.
Coorientação: Prof. Esp. Felipe Bastos Nunes.
1. Internet das Coisas. 2. Aplicação Mobile. 3. Sistemas Embarcados. 4. Agricultura. 5. Meio Ambiente.
I. Título.
-

RENATO ALVES DE OLIVEIRA

PLANTE - UMA PLATAFORMA INTELIGENTE PARA O MONITORAMENTO E
IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Bacharelado em
Ciência da Computação do Instituto Fede-
ral de Educação, Ciência e Tecnologia do
Ceará - IFCE - Campus Aracati, como re-
quisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em 29/01/2020

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Carina Teixeira de Oliveira (Orientadora)
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Esp. Felipe Bastos Nunes (Co-orientador)
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Reinaldo Bezerra Braga
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Msc. Alexandro Lima Damasceno
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Cirlene. Pelo amor incondicional a mim, além do grande apoio e incentivo à minha formação acadêmica. E à minha avó, Carmozina, por todo amor, carinho e apoio que me deu durante toda a minha infância, e que perdura até hoje!

À Carina, minha orientadora. Pela orientação e ativa participação na minha formação acadêmica, desde o curso Técnico até a Graduação. Foi graças a ela que eu tive minha primeira bolsa de pesquisa remunerada, publiquei meu primeiro artigo científico e fiz minha primeira viagem inter-regional. Ela também foi minha orientadora em outros artigos científicos, e minha "chefe" em outras bolsas de pesquisa e desenvolvimento. Além disso ela será minha orientadora, novamente, no Mestrado.

Ao Felipe, meu coorientador, e professor desde o Técnico. Pela coorientação deste TCC e enorme ajuda durante a cadeira de TCC 1. Além disso foi ele quem despertou meu interesse por Internet das Coisas, durante a cadeira de Arquitetura de Computadores.

Ao Reinaldo, meu professor desde o curso Técnico, que me incentivou a sair da minha graduação anterior - kkk - e migrar para o Bacharelado em Ciência da Computação (BCC), o que foi, sem dúvidas, um ótimo conselho. Se não fosse por ele me dizendo "Macho, vem fazer BCC! Tu tens perfil!" eu não estaria onde estou hoje. Além disso ele participou ativamente da minha vida acadêmica, através de publicações de artigos científicos, bolsas de pesquisa e desenvolvimento e viagens acadêmicas.

À minha tia Helena. Por me ceder residência e me acolher tão calorosamente em sua casa durante boa parte da graduação.

À minha namorada, Larissa. Que sempre comemorou, até mais do que eu, minhas vitórias acadêmicas.

Aos meus amigos da faculdade, que participaram de forma construtiva da minha vida acadêmica, em especial o Ruan e o Vinícius.

A todos os meus professores.

À banca avaliadora.

RESUMO

Vários estudos estimam um aumento populacional nas próximas décadas que resultará em uma elevação na demanda global por alimentos. Nesse cenário, o setor primário, em especial a agricultura, deve adotar uma série de medidas para modernizar seus processos produtivos, visando reduzir o desperdício e aumentar os níveis de produção. Além disso, o setor terá que lidar com o fato de que não basta aumentar a produção, também é necessário aumentá-la de forma consciente e sustentável. Para efetivar essa modernização, a área agrícola deve superar uma série de desafios relacionados aos seus processos produtivos, que vão desde o planejamento até o controle de qualidade. Nesse contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso apresenta o Plante, uma plataforma inteligente para o monitoramento e irrigação agrícola. O Plante é composto por três partes principais: (i) uma Camada de Percepção responsável pela coleta de dados ambientais e pela irrigação eficiente da lavoura; (ii) um aplicativo móvel, responsável por fornecer ao agricultor os aspectos climáticos monitorados, previsão do tempo de diversas características climáticas e alertas sobre características climáticas prejudiciais a sua plantação; e (iii) uma Camada de Rede para lidar com os mecanismos de armazenamento, comunicação e processamento de dados entre as demais camadas. Objetiva-se alcançar dois principais benefícios com o Plante: fornecer ao agricultor/gestor agrícola um aporte informacional suficiente para que ele possa tomar decisões que visem aumentar a produção sem expandir a terra agrícola; e evitar o desperdício dos recursos hídricos, através de uma irrigação controlada e eficiente. Para validar a proposta, é apresentado um estudo de caso no qual se utiliza o protótipo do Plante para monitorar e irrigar mudas de Tomate Cereja. Os resultados mostram que o Plante foi capaz de gerar alertas precisos, informando ao tomador de decisões que o ambiente não era adequado para a espécie cultivada. Além disso, o Plante conseguiu gerenciar de maneira eficiente a irrigação e, ao final, foi possível averiguar que as plantas apresentaram deficiências causadas pela falta de luz e altas temperaturas.

Palavras-chaves: Sensoriamento e Irrigação. Internet das Coisas. Agricultura.

ABSTRACT

Several studies estimate a population increase in the coming decades that will result in a rise in global demand for food. In this scenario, the primary sector, especially agriculture, must adopt a series of measures to modernize its production processes, aiming to reduce waste and increase production levels. In addition, the industry will have to deal with the fact that it is not enough to increase production, but also to increase it consciously and sustainably. To effect this modernization, the agricultural area must overcome a series of challenges related to its production processes, ranging from planning to quality control. In this context, this Course Conclusion Paper presents Plante, an intelligent platform for agricultural monitoring and irrigation. The Plante consists of three main parts: (i) a Perception Layer responsible for the collection of environmental data and efficient irrigation of the crop; (ii) a mobile app, responsible for providing the farmer with monitored weather aspects, weather forecasts of various weather characteristics and alerts on weather characteristics detrimental to his crop; and (iii) a Network Layer to handle the mechanisms of storage, communication and data processing between the other layers. The aim is to achieve two main benefits with Plante: providing the farmer/farm manager with sufficient informational input to make decisions to increase production without expanding agricultural land; and avoid wasting water resources through controlled and efficient irrigation. To validate the proposal, a case study is presented in which the Plante prototype is used to monitor and irrigate Cherry Tomato seedlings. The results show that Plante was able to generate accurate alerts, informing the decision maker that the environment was not suitable for the cultivated species. In addition, Plante was able to efficiently manage irrigation and, in the end, it was possible to verify that the plants had deficiencies caused by the lack of light and high temperatures.

Keywords: Sensing and Irrigation. Internet of Things. Agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – IoT como uma nova dimensão no mundo das TICs.	20
Figura 2 – Exemplo de Arquitetura de Três Camadas da IoT.	21
Figura 3 – Sistema de Estacionamento Inteligente Baseado em IoT.	23
Figura 4 – Exemplos de Áreas e Aplicações da IoT.	25
Figura 5 – Estufa de Pimentas com Mecanismo de Monitoramento Sem Fio. . .	29
Figura 6 – GSMS e Sensores de Temperatura e Umidade do Ar.	31
Figura 7 – Exemplo de Fluxo de Execução do BPMN.	32
Figura 8 – Arquitetura do Plante.	36
Figura 9 – Circuito do Plante Box.	38
Figura 10 –Plante Cloud.	39
Figura 11 –Exemplos de funcionalidades do Aplicativo do Especialista.	44
Figura 12 –Exemplos de telas de plantação do Aplicativo do Agricultor.	47
Figura 13 –Exemplos de telas de sensoriamento do Aplicativo do Agricultor. . .	48
Figura 14 –Exemplos de telas de previsão de tempo do Aplicativo do Agricultor.	49
Figura 15 –Plante Box e Mudanças de Tomate Cereja.	50
Figura 16 –Alertas de Luminosidade.	51
Figura 17 –Alertas de Temperatura.	52
Figura 18 –Alertas de Umidade do Solo.	53
Figura 19 –Alertas de Umidade do Ar.	54
Figura 20 –Mudas de Tomate Cereja	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre Trabalhos Relacionados.	33
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
AOS	Arquitetura Orientada a Serviços
API	Interface de Programação de Aplicativos (<i>Application Programming Interface</i>)
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GSMS	<i>Greenhouse Smart Management System</i>
HPE	<i>Hewlett Packard Enterprise</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCA	Instituto Nacional de Câncer
IoT	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i>)
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
M2M	Máquina para Máquina
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
MS	Ministério da Saúde
NFC	<i>Near Field Communication</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	potencial Hidrogeniônico
P&G	<i>Procter Gamble</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i>

TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
V2V	Veículo para Veículo
WRI	World Resources Institute
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	Publicação	18
1.4	Organização do Trabalho	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Histórico e Conceitos da IoT	19
2.2	Arquiteturas da IoT	21
2.3	Aplicações da IoT	24
2.4	Desafios da IoT	26
3	TRABALHOS RELACIONADOS	28
3.1	IoT no Setor Primário	28
3.2	Comparação entre os Trabalhos	31
4	PROPOSTA	35
4.1	Plante Box	35
4.2	Plante <i>Cloud</i>	39
4.3	Plante App	42
5	ESTUDO DE CASO	50
6	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Nas últimas décadas, as sociedades têm passado por uma série de transformações ao redor do mundo. Uma delas é o crescimento populacional. Este é um fenômeno que merece grande atenção, tanto por parte do governo quanto da população em geral. Caso não abordado da devida maneira, pode resultar em uma série de prejuízos, como a redução do bem-estar e qualidade de vida das pessoas. Dados da Organização das Nações Unidas (ONU) mostram que, atualmente, a população mundial gira em torno de 7,6 bilhões de pessoas, para 2050 é estimado um total de 9,8 bilhões, equivalente a um aumento de 29% (NATIONS, 2019).

As consequências esperadas do crescimento populacional são o aumento na demanda por serviços básicos em todo mundo, como saúde, educação, segurança e alimentação. Para atender a essa nova demanda de mercado, diversos setores produtivos terão de passar por processos de modernização. O *World Resources Institute* (WRI), através do estudo "*Creating a Sustainable Food Future*" (INSTITUTE, 2018) aborda a problemática do crescimento demográfico e a grande busca por alimentos. O estudo estima que no ano de 2050 será necessária uma produção alimentícia 56% maior (20,5 trilhões de calorias) que a de 2010 (13,1 trilhões de calorias). O trabalho também apresenta algumas métricas para que o mercado possa se ajustar à nova realidade, dentre elas estão: 1) Aumentar a produção de alimentos sem expandir a terra agrícola; 2) Proteger e restaurar ecossistemas naturais; 3) Melhorar o manejo do solo e da água.

Atualmente, a nível mundial, o ramo agrícola produz 2.609 milhões de toneladas de grãos por ano (FOOD; NATIONS, 2019), sendo a área que produz mais alimentos em todo mundo. A agricultura também é responsável pelo sustento de dois outros grandes ramos do setor primário, a pecuária e aquicultura, que utilizam insumos agrícolas para a produção de rações. Sendo assim, esse é um ramo com grande impacto (tanto direto como indireto) na alimentação humana.

Apesar do grande volume de produção agrícola atual, será necessário um aumento considerável para suprir a futura procura por alimentos. Assim, em consonância com as métricas de sustentabilidade e preservação apresentadas pelo WRI (INSTITUTE, 2018), faz-se necessário que o setor alimentício passe por um processo de renovação e avanço tecnológico, visando aumentar a produtividade de culturas sem aumentar o desmatamento, além de reduzir desperdícios nos processos de produção.

Nesse processo de renovação, o setor terá que solucionar uma série de impasses e deficiências recorrentes atualmente. Dentre as falhas presentes, a necessidade de devastar áreas florestais para aumentar a produção agrícola é uma das mais preocupantes. Hoje, o aumento da produção no plantio está intrinsecamente relacionado ao aumento da área de cultivo. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) aponta que entre 2010 e 2012 o ramo foi responsável pelo desmatamento de 77.520 quilômetros quadrados de regiões florestais no Brasil, o equivalente a 10.587 campos de futebol. Só o setor agrícola foi responsável por 68% do desflorestamento observado naquele período ([ESTATÍSTICA, 2010](#)).

Deficiências no gerenciamento de irrigação também podem ser observadas no ramo. Todos os anos a agricultura é responsável por um gigantesco consumo de água ao redor do globo. A Agência Nacional de Águas (ANA) aponta que só no Brasil, em 2015, o volume de água utilizado no processo de rega foi de 745 mil litros por segundo; para 2030 é esperado um aumento de 46%, resultando em 1.055 milhão de litros por segundo ([ÁGUAS, 2017](#)). É válido salientar que para o ano de 2030 não apenas o setor agropecuário irá apresentar uma maior demanda por recursos hídricos, mas também a própria população e alguns setores industriais. Esse dado reforça a necessidade apontada pelo *World Resources Institute* de se melhorar o manejo da água, visando a redução de desperdícios.

A utilização elevada de agrotóxicos e fertilizantes também é um fator negativo. Essas substâncias podem causar diversos problemas no solo (tornando-o infértil para futura reutilização) e nos rios ou nascentes próximas ao local de aplicação (contaminando a água e os seres aquáticos) ([LOPES; ALBUQUERQUE, 2018](#)). De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA), os agrotóxicos também podem causar doenças nos consumidores de produtos agrícolas (população de forma geral) e, até mesmo, levar à morte dos trabalhadores que realizam sua aplicação ([CÂNCER, 2015](#)). Entre 2007 e 2015 foram registradas um total de 84.206 notificações de intoxicação por agrotóxico no Brasil, segundo relatório publicado pelo Ministério da Saúde (MS) ([SAÚDE, 2018](#)).

A baixa utilização de tecnologias de monitoramento e controle nas plantações, seja em campo aberto ou estufas, também é uma problemática, visto que soluções automatizadas oferecem maior precisão (ex: no processo de coleta e análise de dados) e podem trabalhar em tempo integral. Devido a esse fator, muitas vezes o agricultor não possui dados exatos a respeito de variáveis ambientais como temperatura, umidades atmosférica e de solo, taxa de incidência solar etc. Essa falta de informações precisas faz com que o processo de tomada de decisão possa resultar em ações inapropriadas ou ineficientes, o que pode levar a uma série de problemas, como perda de parte da lavoura, redução dos lucros, desperdício de insumos, dentre outros.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) destaca que a implantação de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) nos processos produtivos e gerenciais da agricultura podem trazer grandes benefícios para a área. Alguns exemplos citados são a melhoria da gestão da produção e da propriedade rural; disseminação de importantes informações do setor; e melhoria no planejamento, monitoramento e acompanhamento da produção (AGROPECUÁRIA, 2014). Além disso, a EMBRAPA também afirma que a utilização de mecanismos de monitoramento de pragas pode reduzir significativamente o uso excessivo e o desperdício de inseticidas na lavoura. Através do monitoramento seria possível utilizar o inseticida na quantidade e momento certos (AGROPECUÁRIA, 2018).

Outras vantagens do uso das TICs são o aumento da eficiência produtiva em decorrência da automação de processos até então manuais; a elevação da precisão na coleta e registro de dados, através da utilização de sensores integrados a dispositivos de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) (Xu; He; Li, 2014); a maior disponibilidade de dados coletados, dada a facilidade de seu compartilhamento através de tecnologias sem fio (como Wi-Fi ou Bluetooth); a melhor representação de dados para análises e tomada de decisões por meio do uso de aplicações com interfaces gráficas amigáveis.

Assim, dada a importância da agricultura para o suprimento de alimentos em todo o mundo e os benefícios da IoT para seu aprimoramento, o contexto deste trabalho é voltado para o desenvolvimento do *Plante*, uma plataforma que visa fornecer um aporte aos agricultores nos processos de planejamento, gerenciamento e controle de ambientes agrícolas. O *Plante* é dividido em três partes principais: uma camada de *hardware* chamada **Plante Box**, um aplicativo móvel chamado **Plante App** e uma camada de rede denominada **Plante Cloud** para permitir a comunicação entre as demais camadas. A solução fornece um conjunto de recursos para ajudar o tomador de decisão (ex: agricultor): a visualização dos dados coletados por sensores, a geração de alertas com base no perfil de cultivo das plantas, a visualização de previsões meteorológicas e a irrigação automática da plantação.

O impacto da proposta pode ser percebido por dois principais aspectos:

- **Melhoria nos processos de gestão agrícola**, através da disponibilização de uma série de informações ao gestor, como (i) a visualização das condições ideais de cultivo para um determinado tipo de planta e de como, de fato, encontram-se tais situações, (ii) previsão meteorológica integrada, fornecendo a previsão de diversos aspectos climáticos que influenciam diretamente nos resultados obtidos na lavoura, como temperatura, incidência de chuva, intensidade de radiação ultravioleta, velocidade e sentido do vento, umidade relativa do ar dentre outras.

- **Eficiência no processo de irrigação**, haja vista que o mecanismo de rega só é ativado no exato momento em que for necessário, sendo desligado quando a umidade do solo atingir o nível ideal.

Ao final deste trabalho, é apresentado o Estudo de Caso comprovando a eficácia do Plante na melhoria da gestão agrícola e eficiência no processo de irrigação. Nesse estudo de caso, o protótipo do Plante foi utilizado para monitorar e irrigar mudas de Tomate Cereja. Os resultados mostram que o Plante foi capaz de gerar alertas, informando ao tomador de decisões que o ambiente não era adequado para a espécie cultivada (por conta da baixa luminosidade e alta temperatura). Entretanto, para averiguar se os alertas gerados eram, de fato, confiáveis e precisos, as plantas permaneceram no local. Ao final foi perceptível que o Plante conseguiu gerenciar de maneira eficiente a irrigação e que os alertas foram precisos e confiáveis, visto que as plantas apresentaram deficiências causadas pela falta de luz e altas temperaturas.

É válido destacar que a arquitetura proposta pode ser facilmente adaptada para utilização em outros cenários que não a agricultura, como parques, praças, zoológicos, hortas comunitárias, jardins internos e terrários.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Propor o desenvolvimento de uma plataforma inteligente para o monitoramento e irrigação agrícola, baseada em Internet das Coisas, que visa facilitar a execução e melhorar os processos de planejamento, gerenciamento e controle de ambientes agrícolas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Utilizar sensores para monitorar as condições ambientais da lavoura.
- Utilizar um mecanismo para a irrigação automática da plantação.
- Utilizar o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) como padrão de comunicação entre os componentes utilizados.
- Utilizar uma *Application Programming Interface* (API) para realizar o processamento de dados e auxiliar na tomada de decisão.

- Modelar um banco de dados para permitir o cadastro de espécies de plantas e suas características ideais de cultivo (como clima, luz, solo e nutrientes), resultando em um perfil de cultivo para cada espécie.
- Disponibilizar um aplicativo móvel com visualização dos dados coletados, gestão de plantações, um serviço de previsão meteorológica e exibição de alertas.

1.3 Publicação

Durante os processos de pesquisa e desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), obteve-se o seguinte artigo aceito e publicado em uma conferência internacional: ***Plante: An Intelligent Agent-based Platform for Monitoring and Controlling of Agricultural Environments*** no *International Workshop on ADVANCES in ICT Infrastructures and Services* (OLIVEIRA; BRAGA; OLIVEIRA, 2020).

1.4 Organização do Trabalho

Os demais Capítulos deste trabalho estão estruturados da seguinte maneira. No Capítulo 2 é apresentada a Fundamentação Teórica, onde se expõe o estado da arte da Internet das Coisas, desde seu histórico e conceitos até os seus desafios para o futuro. Nos Trabalhos Relacionados, Capítulo 3, são apresentados os trabalhos que, assim como o Plante, visam aliar o setor primário à Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). No Capítulo 4 é apresentado o Plante, detalhando sua arquitetura e funcionalidades. No Estudo de Caso, Capítulo 5, é demonstrada a atuação do Plante no monitoramento e irrigação de mudas de Tomate Cereja e os resultados obtidos. Por fim, no Capítulo 6, Conclusão, são mostradas as conclusões e os trabalhos futuros almejados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Histórico e Conceitos da IoT

A Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT) foi idealizada em 1999 pelo então diretor executivo da *Auto-ID Labs* do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), Kevin Ashton. O conceito surgiu quando Ashton pensava em uma maneira de melhorar as transações da *Procter & Gamble* (P&G) e idealizou um mundo onde os computadores saberiam tudo sobre as coisas em geral, através de dados coletados por eles próprios, sem intervenção humana. A ideia de Kevin, que mais tarde veio a se popularizar no mundo da tecnologia, foi publicada na revista *RFID Journal* em 2009 (ASHTON, 2009). Na época em que o conceito foi concebido, eram necessários grandes avanços tecnológicos para materializá-lo. Afinal, questões como o tipo de conexão sem fio, alterações necessárias na infraestrutura da Internet (para manter a comunicação entre bilhões de dispositivos) e como desenvolver soluções econômicas para tal ainda eram incógnitas (RESEARCH, 2013).

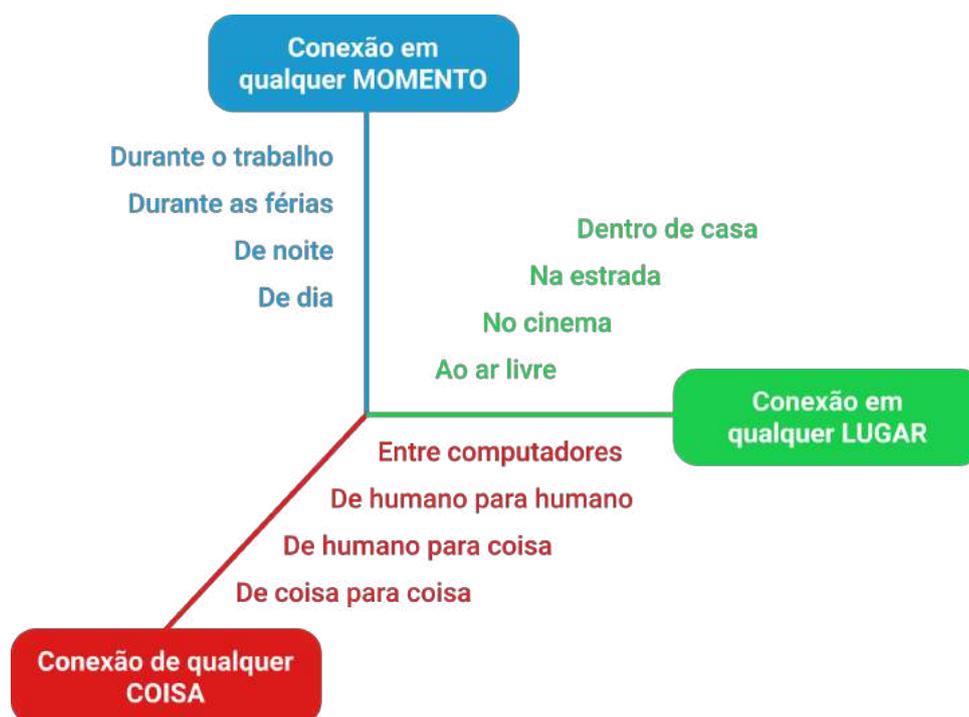
Desde então, a IoT vem ganhando novas definições, ao passo que cada vez mais pesquisadores, acadêmicos, patrocinadores e desenvolvedores se interessam pela área. Aggarwal e Das consideram a IoT como uma "rede global que permite a comunicação de humano para humano, humano para coisa e coisa para coisa", isto é, todos os objetos no mundo que possuam um identificador único podem comunicar-se entre si, através da Internet (AGGARWAL; DAS, 2012). Eles destacam que não apenas objetos/coisas físicas estão inclusas nessa rede de comunicação, mas também objetos virtuais e os eventos conectados a eles.

Para Sundmaeker (SUNDMAEKER et al., 2010), a *Internet of Things* é parte integrada da "Internet do Futuro" e consiste em uma infraestrutura de rede global e dinâmica, auto configurável, baseada em protocolos de comunicação padrão e interoperáveis. Através desses protocolos as coisas físicas e virtuais possuem identidades, atributos físicos e personalidades virtuais e utilizam interfaces inteligentes, sendo perfeitamente integrados à rede de informações.

A *International Telecommunication Union* (ITU) (ITU, 2005) considera que a IoT implementa uma nova dimensão ao mundo das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). A Figura 1 ilustra o conceito dessa nova dimensão. Em um mundo onde, até então, havia conexão a qualquer momento (seja durante o trabalho, as férias, de noite ou de dia) e em qualquer lugar (em casa, na estrada, no cinema ou ao ar livre etc), agora passa a permitir a conexão de qualquer coisa. A ITU destaca que

essa “coisa” pode ser um computador, um dispositivo genérico de internet ou mesmo um ser humano. Como visto na Figura, a IoT permitiu a interconexão de computadores com computadores, de humanos com humanos (sem uso de computador), de humanos com coisas (equipamentos genéricos) e de coisa com coisa. Esse conceito converge em alguns pontos com a definição dada por (AGGARWAL; DAS, 2012).

Figura 1 – IoT como uma nova dimensão no mundo das TICs.



Fonte: Adaptada de (ITU, 2005).

A IoT, assim como a TICs em geral, é uma área interdisciplinar que interage com diversos setores sociais e econômicos. Como tal, é comum que surjam conceitos que busquem defini-la como parte integrante de algo maior. Nesse sentido, Gubbi (GUBBI et al., 2012) apresenta uma definição de IoT para ambientes inteligentes, na qual ele a entende como:

“Uma interconexão de dispositivos de sensoriamento e atuação, oferecendo a capacidade de compartilhar informações entre plataformas através de uma estrutura unificada, desenvolvendo uma imagem operacional comum para permitir aplicativos inovadores.”

O autor destaca que isso é obtido através do sensoriamento onipresente e contínuo, análise de dados e representação de informações com a computação em nuvem como a estrutura unificadora.

Como visto, há várias definições de *Internet of Things* e todas elas têm suas particularidades e divergências. Segundo Madakam, Ramaswamy e Tripathi (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015), o principal ponto de convergência entre as

distintas definições é de que a IoT é “uma rede aberta e abrangente de objetos inteligentes com capacidade de auto-organização, compartilhamento de informações, dados e recursos, reagindo e agindo diante de situações e mudanças no ambiente” . Os autores também destacam quais componentes são necessários para se implementar a Internet das Coisas, são eles: (a) *hardware*, composto por sensores, atuadores e mecanismo de comunicação embutida; (b) *middleware*, com armazenamento e computação sob demanda e mecanismos para análise de dados com nuvem e *Big Data*; e (c) *presentation*, camada responsável por apresentar a visualização dos dados e permitir o controle de dispositivos, como sensores e atuadores.

2.2 Arquiteturas da IoT

Figura 2 – Exemplo de Arquitetura de Três Camadas da IoT.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Atualmente, assim como ocorre com as definições da IoT, há diferentes propostas de arquitetura IoT, cada uma com suas particularidades, seja em relação ao número de camadas, ou ao nome que cada uma delas recebe. Entretanto, todas possuem três camadas em comum (Percepção, Rede e Aplicação). Alguns trabalhos como (MADAKAM; RAMASWAMY; TRIPATHI, 2015), (Al-Qaseemi et al., 2016) e (BURHAN et al., 2018) apresentam essa abordagem *three layer*, que pode ser vista na Figura 2.

A **Camada de Percepção** (ou Sensoriamento) possui uma série de sensores que coletam dados do ambiente onde estão inseridos. Os sensores que podem ser usados nesta camada são os mais diversos possíveis e dependem do objetivo que se deseja alcançar com eles. Pode-se utilizar sensores de temperatura e umidade na agricultura de precisão ou *smart homes* (HERNANDEZ ORLANDO ARIAS; JIN, 2014); de luminosidade em postes de iluminação ou estufas inteligentes; ultrassônicos (para medir distâncias) em veículos autônomos e *smart bikes* (NETO et al., 2018), dentre outros.

Essa camada também pode comportar atuadores, que executam ações e modificam o contexto à sua volta. Alguns exemplos são: irrigadores, utilizados em estufas e agricultura de precisão; umidificadores e condicionadores de ar, presentes em residências, empresas e estufas automatizadas; braços robóticos, usados na indústria (BØGH S., 2011); e até mesmo equipamentos médicos inteligentes, possibilitando a realização de cirurgias de forma remota, via internet (Cai Meng et al., 2004). Destaca-se que na IoT a utilização de atuadores é opcional, pois eles nem sempre são necessários, já que há situações em que se deseja, unicamente, medir fatores ambientais sem modificá-los.

A Camada de Percepção também conta um dispositivo para aglutinar e formatar os dados coletados pelos sensores; acionar o ligamento e desligamento dos atuadores; e se conectar com a Camada de Rede, enviando os dados dos sensores e recebendo instruções de controle. Esse equipamento é denominado *gateway* ou controlador. Ele é fundamental para que os dispositivos não fiquem isolados e possam, através da Camada de Rede, interagir com a Camada de Aplicação.

A **Camada de Rede** (ou Transmissão) pode ser considerada como a parte neural ou o cérebro da Internet das Coisas (Miao Wu et al., 2010), atuando como uma ponte entre as Camadas de Percepção e Aplicação. Ela pode exercer uma série de atividades, como armazenamento, transmissão e análise de dados, implementar mecanismos de antivírus, encriptação de informações e autenticação de usuários (BURHAN et al., 2018), bem como fazer uso de técnicas de Inteligência Artificial, como *Machine Learning* e *Deep Learning*, para aprender padrões e melhorar o desempenho de atividades.

Algumas das principais tecnologias e padrões utilizadas nessa camada são o *Representational State Transfer* (REST), um conjunto de boas práticas comumente utilizado no desenvolvimento de *web services*; o *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), um protocolo de transmissão de mensagens que preza pelo baixo consumo de energia, pacotes de dados minimizados e distribuição eficiente de informações para um ou vários receptores. O padrão de Arquitetura Orientada a Serviços (AOS) - *Service-Oriented Architecture* (SOA), do inglês - que defende que as funcionalidades

oferecidas pelas aplicações devem ser disponibilizadas em forma de serviço.

A **Camada de Aplicação** tem como principal objetivo servir de interface com os usuários, apresentando-lhes os dados coletados pelos sensores (por meio de gráficos, listas, linhas temporais etc), permitindo o controle dos atuadores disponíveis (através de botões liga/desliga, por exemplo), e fornecendo uma série de recursos que variam de acordo com os objetivos da aplicação.

Por exemplo, os autores (Khanna; Anand, 2016) apresentam um "Sistema de Estacionamento Inteligente Baseado em IoT", no qual, para a Camada de Aplicação, é desenvolvido um aplicativo móvel com três telas, ilustradas na Figura 3. Na tela (a) o motorista interessado em utilizar o estacionamento pode ver uma lista com todas as vagas (ocupadas e disponíveis). Ao localizar uma vaga disponível, ele pode clicar e ser redirecionado para a tela (b), na qual ele deve informar por quanto tempo pretende ocupar a vaga. Por fim, o motorista é redirecionado para a tela de confirmação (c).

Figura 3 – Sistema de Estacionamento Inteligente Baseado em IoT.



Fonte: Adaptada de (Khanna; Anand, 2016).

No caso dessa proposta, não há dados coletados por sensores físicos, o que há são dados fornecidos pelos próprios usuários informando sobre a disponibilidade das vagas. Embora não haja sensoriamento físico, o conceito de sensores está presente, pois as informações dos usuários permitem o entendimento do contexto do ambiente (estacionamento) no qual eles estão inseridos. Nessa proposta os usuários também não podem controlar os atuadores de forma direta (através de botões

liga/desliga no aplicativo, por exemplo), entretanto o conceito existe de maneira implícita. A partir do momento em que a vaga é marcada como ocupada, uma luz laranja (atuador) é acionada sobre ela, indicando sua indisponibilidade. Note que o usuário não tem conhecimento desse atuador, mesmo interagindo com ele, no momento em que marca a vaga como ocupada/desocupada.

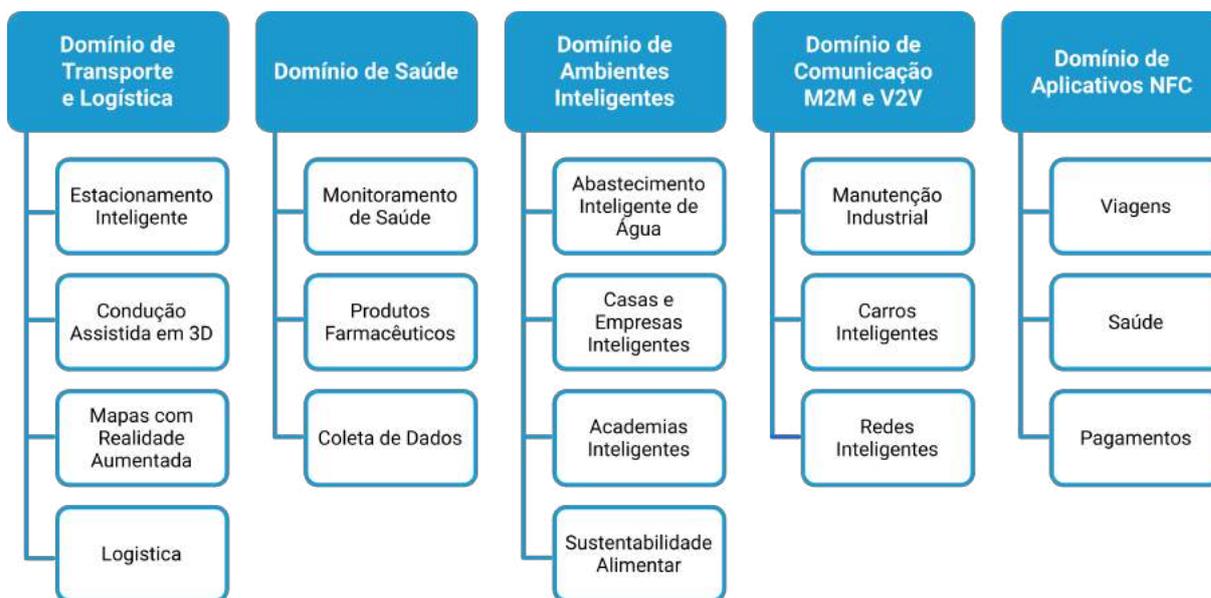
Destaca-se que a Camada de Aplicação não necessariamente precisa possuir uma visualização gráfica, ou seja, nem sempre necessita de uma tela para exibir informações. No mundo das TICs, há outras formas de se transmitir informação útil, que não seja através da visão. Audição e tato também são meios de recepção de informações. A exemplo disso os autores de *Introducing a Virtual Assistant to the Lab: A Voice User Interface for the Intuitive Control of Laboratory Instruments* (AUSTER-JOST et al., 2018) apresentam um *hardware* integrado à uma assistente virtual, com o qual os usuários interagem por meio de comandos de voz. Este é um dos casos em que usuários com deficiência visual, por exemplo, teriam uma experiência tão imersiva quando pessoas sem tal deficiência.

2.3 Aplicações da IoT

A Internet das Coisas é um conceito que, gradativamente, vem se tornando presente no cotidiano da sociedade, a ponto de se tornar ubíqua e pervasiva daqui a alguns anos (PATRICIO et al., 2018). Destaca-se que a IoT pode ser utilizada em diferentes áreas do conhecimento humano. Na Figura 4, são apresentadas algumas áreas e aplicações da IoT (AGRAWAL, 2013). Áreas como transporte, logística, saúde, ambientes inteligentes, comunicação Máquina para Máquina (M2M) e Veículo para Veículo (V2V), bem como aplicativos *Near Field Communication* (NFC) são exemplos de em que a Internet das Coisas pode atuar. Portanto, nota-se facilmente que seu escopo de atuação é bastante amplo, podendo ser utilizada em diversas outras áreas.

Como visto anteriormente, a área da saúde é um potencial meio para aplicações IoT. Shah e Yaqoob (SHAH; YAQOOB, 2016) destacam alguns possíveis usos para o setor: (a) *Monitoramento remoto de pacientes*, através da utilização de sensores de batimentos cardíacos, pressão arterial etc; (b) *Telemetria de ambulâncias*, agilizando o tempo de alocação de pacientes para transporte; (c) *Gerenciamento de medicamentos*, informando aos pacientes/cuidadores o momento de tomar determinados remédios e em qual dosagem; (d) *Rastreamento de ativos hospitalares*, montando um mapa detalhado de insumos hospitalares, como medicamentos, equipamentos médicos etc; (e) *Manutenção preditiva*, detectando previamente o momento exato de manutenção em equipamentos médicos evitando o atraso na prestação de serviços; dentre outros.

Figura 4 – Exemplos de Áreas e Aplicações da IoT.



Fonte: Adaptada de (AGRAWAL, 2013).

A IoT também tem potencial para atuar nas áreas ambiental e agrícola. Os autores de (Khan et al., 2012) destacam alguns exemplos: (a) *Predição de desastres naturais*, através da combinação de sensores e suas coordenadas geográficas é possível prever a ocorrência de desastres naturais (como deslizamentos de terra) e tomar ações apropriadas com antecedência; (b) *Monitoramento da escassez de água*, a IoT pode ajudar a detectar a escassez de água em diferentes lugares. Por meio de redes de sensores, aliadas a mecanismos de simulação e processamento de dados, é possível comparar o nível de água de uma represa em relação aos anos anteriores ou, até mesmo, detectar um vazamento de esgoto em rios e córregos e enviar alertas para as autoridades competentes; (c) *Agricultura*, através da utilização de mecanismos de gestão e controle de ambientes agrícolas via Internet é possível coletar dados ambientais, gerar alertas para os agricultores, irrigar automaticamente a plantação, dentre outras coisas.

As cidades inteligentes também são um forte campo de atuação para IoT (SHAH; YAQOOB, 2016), possuindo uma série de aspectos passíveis de manipulação via sensoriamento e redes sem fio como: (a) *Medidores eletrônicos residenciais* para acompanhar, em tempo real, via *smartphone*, o consumo de água e energia elétrica; (b) *Postes de iluminação inteligentes* controlados por sensores que emitem luminosidades diferenciadas dependendo do contexto; (c) *Detecção de vazamentos em tubulações*, enviando alertas às autoridades quando houver algum problema com tubulações de água ou gás; (d) *Câmeras de vigilância inteligentes* que detectam, sem intervenção humana, comportamentos fora do comum, como assaltos, acidentes de trânsito, mortes etc.

A *Hewlett Packard Enterprise* (HPE) realizou uma pesquisa mercadológica e chegou a conclusão de que, atualmente, a Internet das Coisas já é aplicada em alguns meios, como (a) *ambientes empresariais*, por meio da utilização de serviços de monitoramento remoto do uso de energia ou mecanismos de iluminação e climatização equipados com sensores e controlados através da internet por *smartphones* ou centrais de controle; (b) *indústrias*, através de serviços baseados em localização *indoor* e interconexão de sistemas, processos e máquinas via rede; (c) *hospitais*, via utilização de sensores para monitoramento remoto de pacientes ou até mesmo de equipamentos médicos, agilizando o processo de detecção de defeitos e, conseqüentemente, acelerando o início do reparo de tais equipamentos (ENTERPRISE, 2017).

Alguns pontos destacados por Shashank e Dario, em 2013, como possíveis usos da IoT (empresas inteligentes, manutenção industrial e monitoramento de saúde) (AGRAWAL, 2013) convergem com os resultados do estudo realizado pela HPE quatro anos depois, em 2017. Isso mostra que, de fato, as aplicações teóricas estão sendo implementadas no mundo real. A HPE demonstra em sua pesquisa que tal implementação traz benefícios, como o aumento na produtividade e eficiência (em ambientes inteligentes de trabalho); redução de riscos e tempo de inatividade (no setor industrial); bem como elevação na inovação e redução dos custos (no setor de saúde).

2.4 Desafios da IoT

Apesar da IoT ser uma temática já estudada há bastante tempo, essa tecnologia ainda não pode ser considerada consolidada. Para tal, ela necessita superar uma série de barreiras e desafios presentes na área. Os trabalhos (Khan et al., 2012), (Chen et al., 2014), (Frustaci et al., 2018) e (ČOLAKOVIĆ; HADŽIALIĆ, 2018) apresentam alguns desses desafios:

- *Gerenciamento de nomes e identidades*. Para manter a interconexão entre bilhões de dispositivos é necessária uma arquitetura de gerenciamento eficiente para gerar dinamicamente uma identidade exclusiva para cada dispositivo conectado.
- *Interoperabilidade e padronização*. Sabe-se que, atualmente, diferentes fabricantes utilizam diferentes padrões de comunicação e formatação de dados em seus dispositivos, o que impossibilita a interconexão de uma série de dispositivos. É necessário que haja um padrão internacional para corrigir esse problema.
- *Padrões de arquitetura*. Com a diversidade de aplicações da IoT, não há como utilizar uma arquitetura de referência única, portanto, as arquiteturas devem ser abertas e os padrões não devem restringir os usuários a usar soluções fixas de

ponta a ponta. Elas devem ser flexíveis para atender casos como identificação (RFID, *tags*), dispositivos inteligentes e *smart objects* (hardware e soluções de software).

- *Confidencialidade e criptografia de dados.* Em geral, os dados coletados por dispositivos de sensoriamento são enviados para uma central de processamento *online*, ou seja, são transmitidos via internet, sendo passíveis de ataque. Para manter sua confidencialidade eles devem ser criptografados.
- *Segurança e proteção de objetos.* É necessário impedir o acesso indevido de pessoas aos objetos, tanto para evitar danos físicos a eles como para impedir que sua forma de operação seja alterada por pessoas mal intencionadas.
- *IoT verde / eficiência energética.* Com a elevação do número de dispositivos conectados à rede, o consumo de energia também está passando por um grande aumento. É necessária a adoção de fontes de energia renováveis, sustentáveis e não poluentes (como solar e eólica), fazendo com que os dispositivos sejam o mais eficiente possível em termos energéticos.

Para o futuro, espera-se que a Internet das Coisas avance tecnologicamente e cresça a ponto de, em algum momento, tornar-se completamente ubíqua e pervasiva, permeando desde ambientes industriais e urbanos até ambientes naturais e rurais. Isso levará uma série de benefícios às mais diversas áreas sociais e econômicas ao redor do mundo.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

3.1 IoT no Setor Primário

Com os crescentes avanços tecnológicos das últimas décadas e uma demanda cada vez maior por alimentos em todo mundo, um dos maiores desafios do século XXI é aliar a ciência e tecnologia aos processos produtivos do setor primário. Como visto na Seção 1, agricultura, pecuária e aquicultura são setores de extrema importância para o sustento da humanidade, mas, assim como outras áreas industriais, ainda apresentam desperdício de recursos (como a água), e outras ineficiências atreladas a processos de planejamento, execução, acompanhamento e controle.

Em consonância com isso, uma série de estudos e pesquisas têm sido publicados com intuito de disseminar conhecimento e propor soluções para algumas dessas problemáticas. Abaixo segue a lista de alguns trabalhos que, assim como o Plante, lidam com propostas que visam aliar o setor primário às TICs, por meio da Internet das Coisas, almejando um desenvolvimento sustentável e uma produção eficiente.

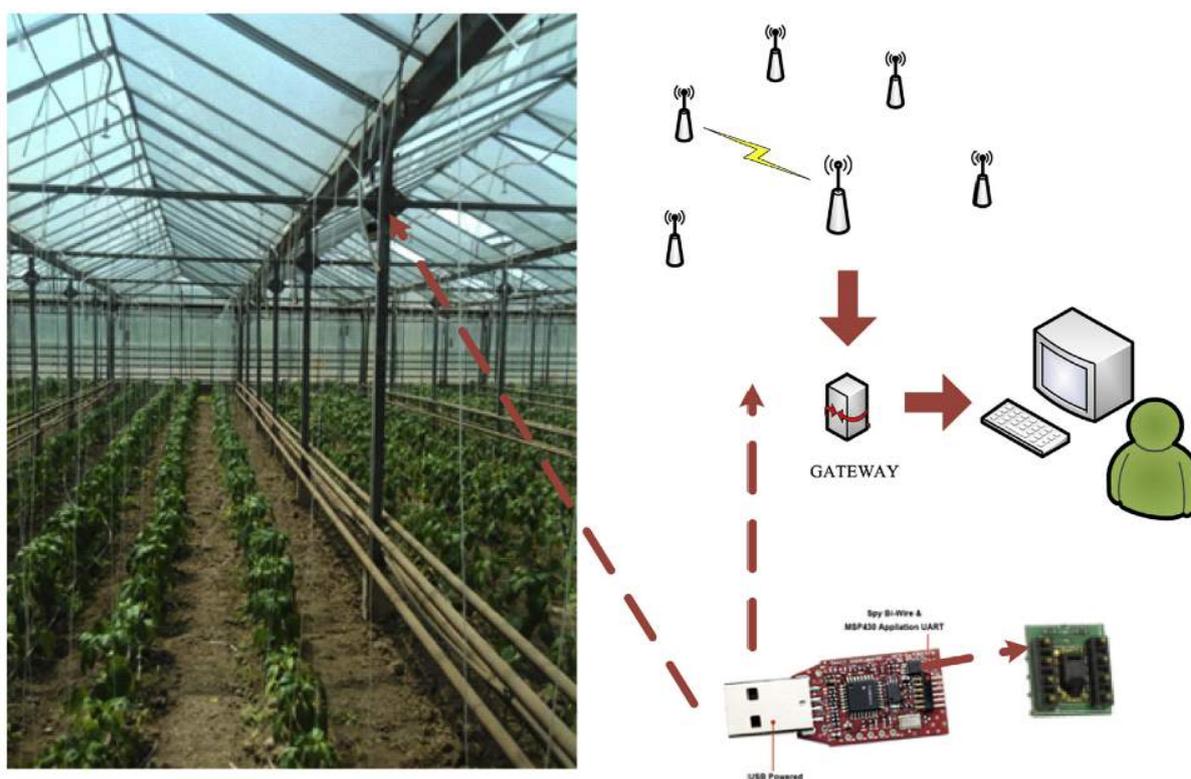
Os autores de *IoT for Aquaculture 4.0 (Smart and easy-to-deploy real time water monitoring with IoT)* (DUPONT; COUSIN; DUPONT, 2018) destacam a importância do monitoramento da qualidade de água na aquicultura, o que pode impedir uma série de doenças nos peixes causadas por situações adversas no ambiente aquático. No trabalho é citada a grande importância da Internet das Coisas para o desenvolvimento de uma nova aquicultura, mais eficiente e sustentável, a qual, integrada a sensores e mecanismos de análise e controle pode atingir uma grande performance. Nesse cenário há uma forte necessidade de um monitoramento preciso e contínuo de aspectos como temperatura, oxigênio dissolvido e pH (potencial Hidrogeniônico), os quais são vitais para a sobrevivência dos seres aquáticos. A exibição em tempo real dos dados coletados se caracteriza como uma grande utilidade, pois proporciona um tempo de reação mais rápido por parte dos gestores; enquanto o controle desses parâmetros, por meio de atuadores, contribui para assegurar a boa qualidade da água.

Em *Environmental Parameters Monitoring in Precision Agriculture Using Wireless Sensor Networks* (SRBINOVSKA et al., 2014) é destacada a grande relevância de três pontos para a obtenção de bons resultados em colheitas agrícolas, a saber: 1) parâmetros de monitoramento como temperatura, umidade e iluminação, que são alguns dos principais fatores para o rendimento e qualidade agrícola; 2) análise de dados monitorados e tomada de decisões visando a otimização; e 3) aplicação de mecanismos de controle. Em consonância com os pontos supracitados, os autores

propuseram um sistema de monitoramento agrícola de baixo custo, que consiste em um conjunto de sensores sem fio, interligados via *Wireless Sensor Network* (WSN) e que conta com um atuador para o controle de irrigação remota por gotejamento.

A Figura 5 mostra o caso de uso no qual o mecanismo de sensoriamento e controle foi aplicado. Trata-se de uma plantação de pimentas cultivadas em estufa. A imagem também ilustra como funciona a comunicação entre os componentes: os sensores sem fio coletam os dados do ambiente, os enviam a um *gateway* que os transmite à uma aplicação (um sistema *web* por exemplo) através da qual o usuário poderá acompanhar os dados monitorados e tomar decisões com base neles. Destaca-se que a utilização de sensores sem fio traz duas principais desvantagens: a necessidade de recarregar suas baterias (requisitando assim um processo contínuo de manutenção) e o fato de esses sensores serem mais caros que os sensores com fio, o que aumentará o custo final do produto.

Figura 5 – Estufa de Pimentas com Mecanismo de Monitoramento Sem Fio.



Fonte: (SRBINOVSKA et al., 2014).

Em *IOT Based Smart Agriculture Monitoring System* (SUMA et al., 2017) os autores trazem uma proposta de sensoriamento para aplicação na agricultura de precisão. O trabalho utiliza sensores de temperatura, umidade do solo, umidade do ar e de presença (para detectar movimentos). É válido destacar que esta proposta não implementa nenhum mecanismo de atuação, como irrigação ou resfriamento/aquecimento de ambientes. Aqui também foi apresentado um aplicativo móvel,

contendo apenas uma tela que exibe os dados coletados pelos sensores: temperatura, detecção de movimentos (indicando, por exemplo, a presença de um animal na plantação), umidade do solo e umidade do ar. O aplicativo também oferece a possibilidade de ligar e desligar o microcontrolador (responsável por coletar os dados e enviá-los ao aplicativo). Os autores salientam que é possível configurar esse mecanismo para atuar no modo automático, entretanto, não há como fazer isso através do aplicativo.

Os autores de ***Precision Agriculture for Greenhouses Using a Wireless Sensor Network*** (Hamouda; Elhabib, 2017) apresentam um sistema desenvolvido para o monitoramento e controle de estufas. O *Greenhouse Smart Management System* (GSMS) conta com uma rede de sensores, ventiladores e irrigadores, interconectados via Rede de Sensores sem Fio (WSN), que são acionados quando o sistema percebe que a temperatura ou umidade estão desconformes com as necessidades da espécie de planta cultivada. A Figura 6 (a) mostra a única tela do aplicativo que é dividida em quatro partes: um campo indicando se o aplicativo está conectado ao *gateway* (nesse caso um *Arduino Uno*¹); um controle manual (liga/desliga) dos atuadores de irrigação e ventilação; botões para ligar ou desligar o controle automático dos atuadores; e o histórico dos dados coletados pelos sensores.

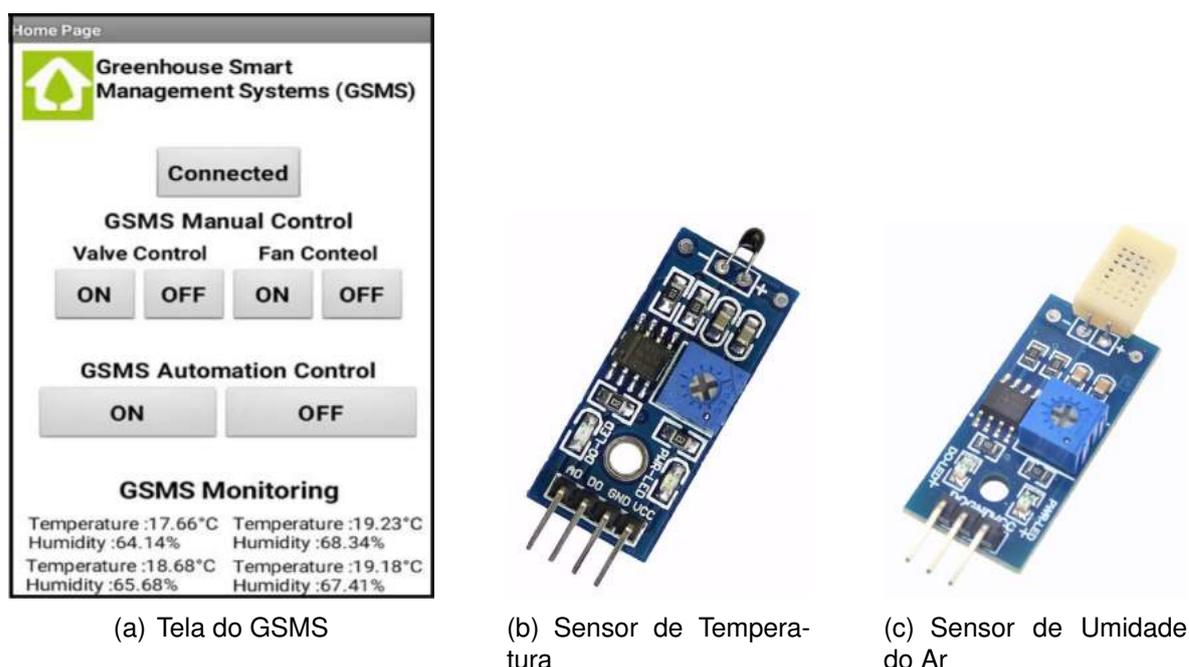
Neste trabalho são utilizados apenas dois sensores, um para medir a temperatura, o termo resistor NTC (Negative Temperature Coefficient) baseado na placa LM393 (Figura 6 (b)) e um que mensura a umidade relativa do ar, o HR202 (Figura 6 (c)). O tipo de conectividade utilizada para sincronizar os dados coletados com a aplicação móvel proposta é o Bluetooth (através do módulo HC-05 BT) o que torna a distância máxima de comunicação entre o aplicativo e o hardware limitada a, no máximo, 100 metros.

No trabalho ***An Architecture and Its Tools for Integrating IoT and BPMN in Agriculture Scenarios*** (CELESTRINI RENATO N. ROCHA; ANDREÃO, 2019) é apresentada uma proposta de arquitetura que utiliza IoT e *Business Process Model and Notation* (BPMN) para aplicação em cenários de agricultura. O BPMN é uma notação desenvolvida para a construção de fluxogramas e está diretamente atrelada à metodologia de gerenciamento de processos de negócio.

Na Camada de Percepção os autores propuseram a utilização de sensores de temperatura, luminosidade e umidade do solo, e de atuadores para realizar a iluminação, ventilação e irrigação de estufas. Na Camada de Aplicação é utilizado um sistema *web*, permitindo que a gestão da estufa seja executada remotamente. O *Dashboard* do sistema conta com: a visualização da quantidade de sensores utilizados e os da-

¹ Destaca-se que o Arduino Uno tem como função primária gerenciar sensores e atuadores, entretanto, ele também pode ser utilizado como *gateway*.

Figura 6 – GSMS e Sensores de Temperatura e Umidade do Ar.



Fonte: Adaptada de (Hamouda; Elhabib, 2017).

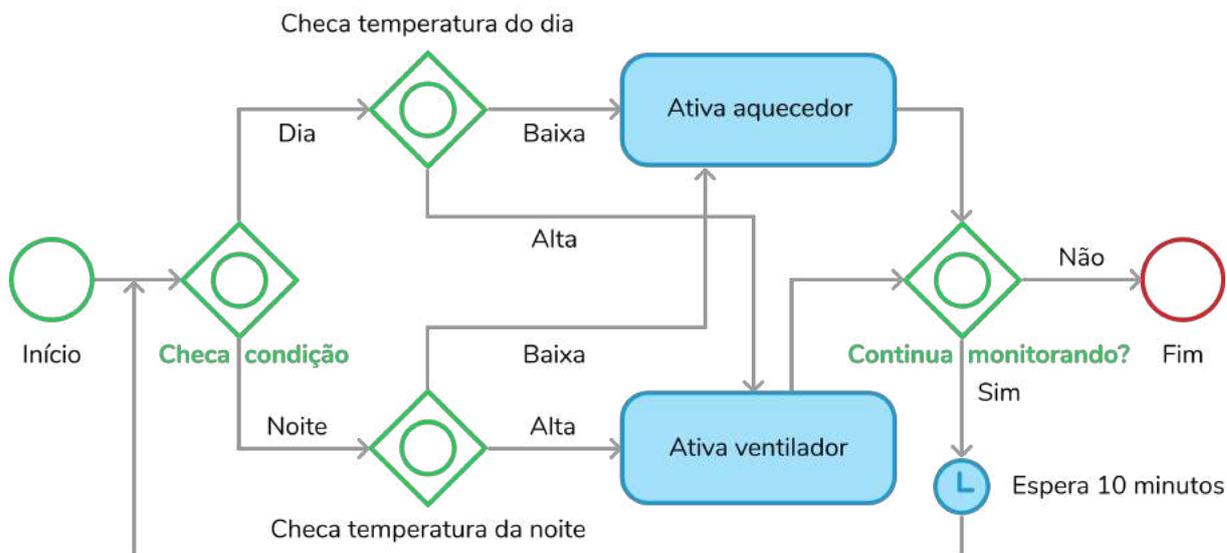
dos coletados por eles (temperatura, luminosidade e umidade do solo); uma simulação do ambiente da estufa, exibindo os atuadores disponíveis; e o histórico de coleta de dados dos sensores.

O sistema também conta com uma tela para que o usuário, através de uma interface que utiliza o padrão BPMN, modele regras de negócio para o cultivo de diferentes espécies de plantas. O modelo criado pelo usuário é interpretado e compilado pela aplicação, a qual automatizará a execução das tarefas descritas no diagrama de fluxo, interagindo com os sensores e atuadores quando necessário. A Figura 7 apresenta um exemplo do fluxo de execução do BPMN. O fluxo se inicia com a verificação do período do dia (diurno ou noturno), após isso ele averigua se a temperatura para o respectivo período está abaixo ou acima do ideal, caso esteja abaixo ele inicia uma rotina de aquecimento da estufa, caso contrário, ele a resfriará. Após isso é analisado se o fluxo de monitoramento deverá continuar, em caso afirmativo ele espera 10 minutos e reinicia o ciclo, em caso negativo ele encerra a execução. Os autores demonstraram a utilização da arquitetura utilizando como caso de uso uma estufa, onde se cultiva alface.

3.2 Comparação entre os Trabalhos

Nesta subseção almeja-se realizar uma comparação entre três trabalhos relacionados e o *Plante*. Foram selecionados os trabalhos (SUMA et al., 2017), (Ha-

Figura 7 – Exemplo de Fluxo de Execução do BPMN.



Fonte: Adaptada de (CELESTRINI RENATO N. ROCHA; ANDREÃO, 2019).

mouda; Elhabil, 2017) e (CELESTRINI RENATO N. ROCHA; ANDREÃO, 2019), os quais possuem um *software* implementado. Na Tabela 1 é detalhada a comparação entre alguns pontos que podem enriquecer a experiência de uso do sistema/dispositivo proposto. Abaixo estão elencados os pontos a serem comparados:

- **Funcionalidades de Software:** quantidade de diferentes funcionalidades úteis para colaborar com o processo de tomada de decisão dos agricultores. Isso inclui os diferentes módulos do aplicativo e os recursos de Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) que estão sendo implementados.
- **Componentes de Hardware:** quantidade de diferentes sensores e atuadores. Dependendo da proposta uma quantidade maior de diferentes tipos de dados de sensoriamento ou atuadores pode ser mais vantajoso, e enriquecer o processo de tomada de decisão.

Como visto na Tabela 1, no quesito Componentes de *Hardware* são dois os trabalhos que se destacam: o de Celestrini (2019) que conta com três atuadores, permitindo um maior controle do ambiente em estufas; e o Plante, que possui a maior quantidade de sensores (permitindo assim uma maior abrangência na quantidade de diferentes aspectos climáticos monitorados). No que diz respeito às Funcionalidades de *Software*, o Plante é quem engloba a maior quantidade de funções, permitindo a execução manual ou automática dos atuadores; a geração de alertas realizada com base em perfis de cultivo para cada espécie de planta; o acompanhamento da previsão do tempo; e o monitoramento dos sensores por meio de um aplicativo. Esta última característica também está presente nos demais trabalhos. Destaca-se que o trabalho

Tabela 1 – Comparação entre Trabalhos Relacionados.

	Suma, 2017	Hamouda, 2017	Celestrini, 2019	Plante
Quantidade de Sensores	4	2	3	green!100 5
Quantidade de Atuadores	0	2	green!100 3	1
Atuadores Automatizados	Não	green!100 Sim	green!100 Sim	green!100 Sim
Sistema de Alertas	Não	Não	Não	green!100 Sim
Perfil Automático para cada Espécie de Planta	Não	Não	Não	green!100 Sim
Monitoramento dos Sensores	green!100 Sim	green!100 Sim	green!100 Sim	green!100 Sim
Controle Manual dos Atuadores	Não	green!100 Sim	Não	green!100 Sim
Previsão do Tempo Integrada	Não	Não	Não	green!100 Sim

Fonte: Elaborada pelo autor.

de Hamouda (2017) também conta com o controle manual e automático dos atuadores, e em Celestrini (2019) os dispositivos de atuação também são automatizados.

Algumas das principais desvantagens dos trabalhos descritos acima, em relação ao Plante, são a ausência de: 1) Uma base de dados integrada com perfis (automáticos) de cultivo para diferentes espécies de plantas; 2) Sistema de alertas aos usuários e 3) Previsão meteorológica integrada à aplicação móvel. Essas são funcionalidades que agregam valor ao produto e proporcionam uma maior dinamicidade ao processo de tomada de decisão.

Em suma, é perceptível que a utilização da Internet das Coisas no setor primário não é exclusividade deste trabalho, outros autores também defendem a ideia de que tal abordagem pode levar grandes vantagens a esse setor, que é vital para a sobrevivência humana. Percebe-se também que a utilização de mecanismos de atuação e sensoriamento são tidos como de grande importância, pois todos os trabalhos im-

plementaram ambos, com exceção de Suma (2017) que não utilizou atuadores. Não restam dúvidas de que a Internet das Coisas, aliada a sensores e atuadores são excelentes ferramentas, com grande potencial para modernizar o setor primário. Além deles, a utilização de aplicativos móveis ou sistemas *web*, integrados à IoT, contribui fortemente para a melhoria dos processos de gestão e tomada de decisões.

4 PROPOSTA

Este capítulo detalha o Plante, uma plataforma inteligente para o monitoramento e irrigação agrícola. A ideia é que o Plante viabilize o cuidado de plantas com um grau reduzido de intervenção humana, seja em grandes áreas (como espaços agricultáveis, parques, praças e zoológicos) ou pequenas áreas (como hortas comunitárias, jardins internos e terrários). Assim, almeja-se com a proposta a obtenção de dois principais benefícios: 1) Aumentar a produção de alimentos sem expandir a terra agrícola; e 2) Melhorar o manejo da água. Conforme citado no Capítulo 1, esses são alguns dos principais pontos elencados pelo *World Resources Institute* para que o setor primário (em especial a agricultura) seja executado de forma consciente, permitindo a sustentabilidade ambiental e o equilíbrio social em nosso planeta ao longo dos anos (INSTITUTE, 2018).

Conforme ilustrado na Figura 8, a arquitetura do Plante está dividida em três partes principais: o Box, o *Cloud* e o *App*. Nota-se que cada parte corresponde, respectivamente, às Camadas de Percepção, Rede e Aplicação detalhadas na arquitetura da Seção 2.2. Na sequência, são detalhados os aspectos da arquitetura, desenvolvimento e funcionalidades de cada camada.

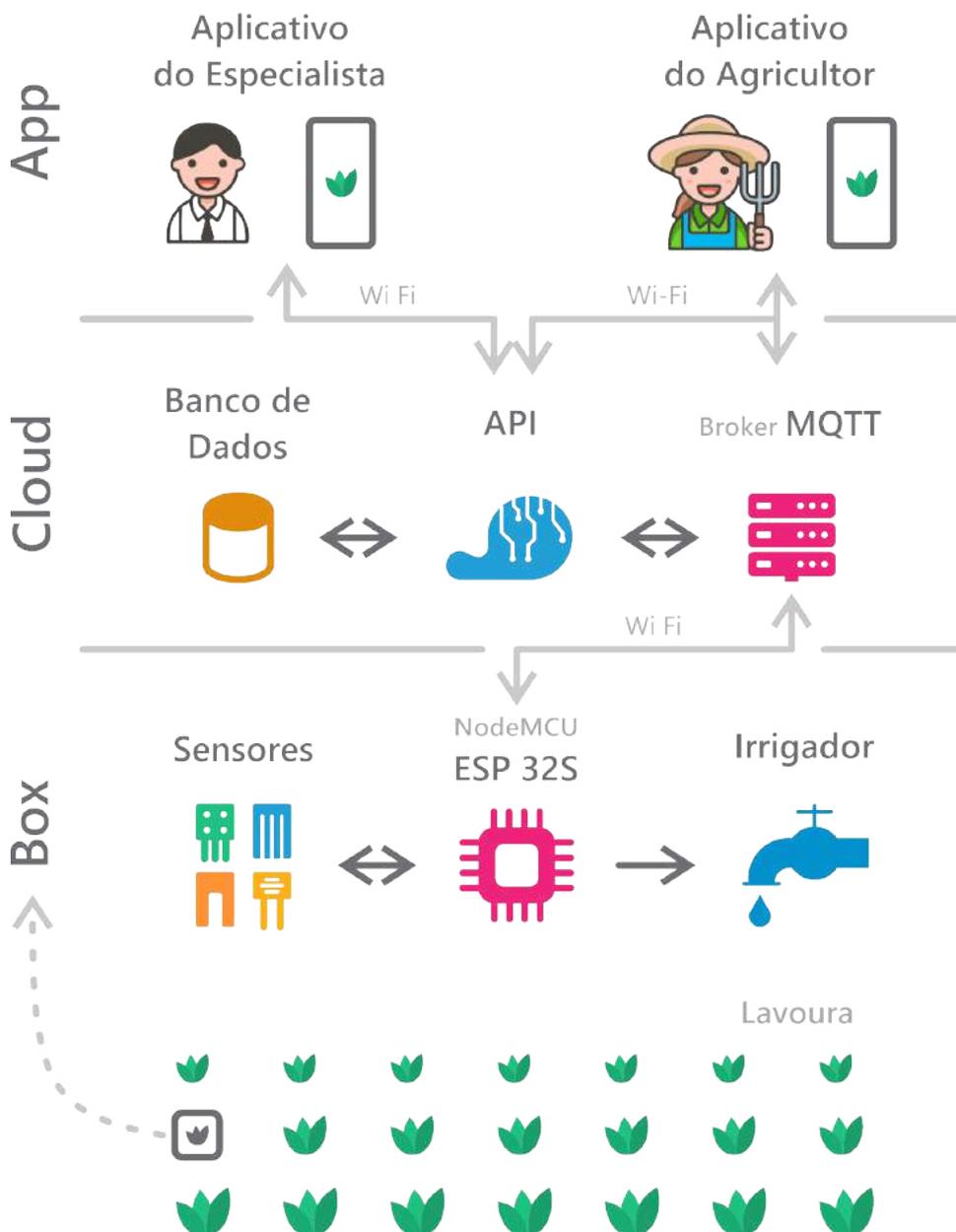
4.1 Plante Box

O Plante Box consiste na solução de *hardware* do projeto e deve ser utilizado em meio a plantação para monitorar as condições climáticas do local e irrigar o solo. Conforme mostra a Figura 8, o Box é formado por três componentes principais, o NodeMCU ESP 32s, os Sensores e o Irrigador. Cada componente é explicado em detalhes a seguir e, ao final, é detalhado o circuito completo do Plante Box.

- **NodeMCU ESP 32s**

O NodeMCU ESP 32s (TEAM, 2019) é uma plataforma IoT *open source* que utiliza como microcontrolador o ESP 32, o qual faz parte de uma série de microcontroladores de baixo custo e baixo consumo de energia desenvolvidos pela Espressif (CO., 2019). O *hardware*, que utiliza o microprocessador Tensilica Xtensa LX6, possui os chips Wi-Fi e Bluetooth incorporados nativamente. Características como um *clock* de 240 MHz, uma arquitetura de 32 bits e um chip Wi-Fi com velocidade de 2.4 GHz, oferecem um desempenho suficiente para as necessidades do Plante, seja no que

Figura 8 – Arquitetura do Plante.



Fonte: Elaborada pelo autor.

se refere a velocidade de transmissão de dados pela rede ou na execução do código fonte e manipulação dos equipamentos conectados.

No Plante, o NodeMCU é responsável por controlar o irrigador e interagir com os sensores (energizando-os e lendo os dados coletados). Além disso o NodeMCU também age como *gateway*, enviando os dados ambientais coletados para o Plante *Cloud* e recebendo comandos de controle para manipular o atuador de irrigação. A conexão entre o ESP 32 e a Camada de Rede se dá através do Wi-Fi. Duas das principais vantagens de se utilizar esse equipamento são seu baixo consumo de energia

(haja vista seus circuitos necessitarem de apenas 3.3 Volts para funcionar) e a integração nativa com tecnologias de conectividade, dispensando a necessidade de adquirir componentes extra para essa finalidade.

• Sensores

O Plante utiliza quatro sensores que medem, ao todo, cinco tipos de dados. O sensor principal é o DHT11, responsável por medir a umidade do ar e a temperatura. Além dele, há um sensor responsável por medir o nível de umidade do solo (YL69), um fotorresistor (LDR) que mede a intensidade de luz e um sensor que mensura a intensidade de chuva (YL83).

O código gravado no ESP 32, responsável por manipular os sensores, foi projetado pensando na eficiência energética e na vida útil dos componentes. Para isso, esse código, escrito na linguagem C, permite que os sensores permaneçam desligados durante a maior parte do dia. O DHT11 recebe corrente elétrica durante um período de 2.5 segundos, enquanto os demais sensores são energizados durante 1.5 segundo cada, tempo suficiente para que eles realizem a leitura do ambiente e enviem os dados ao microcontrolador. A frequência de coleta dos dados, por padrão, foi definida como 5 minutos ¹, ou seja, a cada 5 minutos cada um dos sensores é ligado (durante 2.5 ou 1.5 segundo) e, logo em seguida, é desligado, até que o ciclo se repita. Esse comportamento, como mostra a Equação 4.1, permite que os sensores consumam energia durante 2.33% do tempo (1 minuto e 24 segundos por hora), em comparação a uma solução que deixa os sensores sempre ligados.

$$(3 \text{ sensores} * 1.5 \text{ segundo}) + 2.5 \text{ segundos} = 7 \text{ segundos} \quad (4.1a)$$

$$\frac{60 \text{ minutos}}{5 \text{ minutos}} = 12 \text{ vezes por hora} \quad (4.1b)$$

$$7 \text{ segundos} * 12 \text{ vezes por hora} = 84 \text{ segundos por hora} \quad (4.1c)$$

$$3600 \text{ segundos (1h)} = 100\%, \text{ logo } 84 \text{ segundos} = 2.33\% \quad (4.1d)$$

• Irrigador

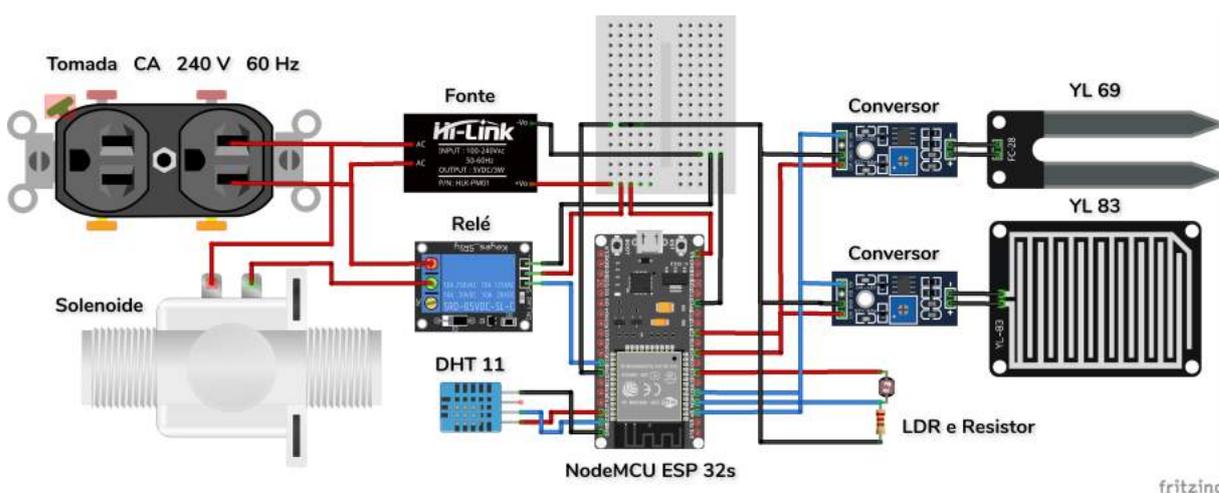
Para possibilitar a adequação do *hardware* com a proposta de cultivar plantas com pouca intervenção humana, o Plante Box conta com um atuador para regar a plantação. Esse atuador é composto por dois componentes principais, um módulo relé e uma válvula solenoide adaptada para encanamentos.

¹ Exceto quando o irrigador está ligado. Nessa situação a coleta ocorre a cada 15 segundos.

A solenoide funciona como um motor de dois estados: *fechado*, impedindo a passagem de água; ou *aberto*, permitindo a passagem de água. Já o módulo relé serve como um interruptor, que recebe um comando do Node MCU para ligar/desligar a solenoide. Ele também tem a função de receber uma tensão de 220V (corrente alternada) provinda de uma rede elétrica, e repassá-la à solenoide, visto que as características elétricas do NodeMCU (3.3V e corrente contínua) são insuficientes para alimentá-la.

Assim como ocorre com os sensores, a conexão elétrica entre o NodeMCU e o irrigador permanece desligada por padrão (mantendo a solenoide desligada, ou seja, impedindo o fluxo de água), só sendo estabelecida no momento em que for requisitada pelo usuário do aplicativo ou pela *Application Programming Interface* (API) do Plante. Isso resulta em um mecanismo energeticamente eficiente e que visa preservar a vida útil dos equipamentos.

Figura 9 – Circuito do Plante Box.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 9 detalha o circuito do Plante Box. O primeiro componente é uma Fonte, responsável alimentar o NodeMCU ESP 32s. Essa Fonte converte a Corrente Alternada (240V), provinda da rede elétrica, em Corrente Contínua (5V), que é a configuração adequada para energizar o ESP. Um detalhe importante é que há uma associação em paralelo entre a Fonte e o Irrigador (composto pelo Relé e pela Solenoide, que são associados em série). Isso foi modelado dessa maneira para dispensar a necessidade de utilizar duas fontes de alimentação (uma para a Fonte e outra para o Irrigador).

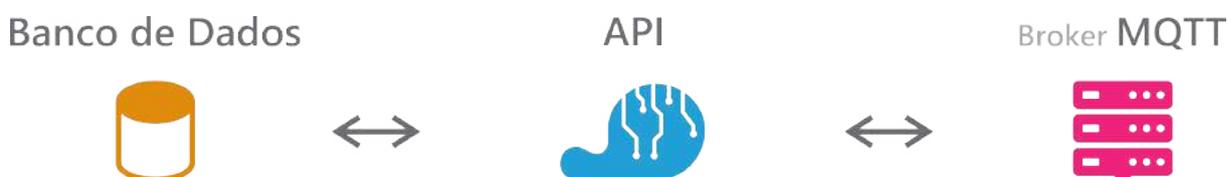
Outro detalhe, até então não abordado, é o fato de os sensores de umidade do solo e chuva (YL 69 e Y 83, respectivamente) utilizarem conversores. Esses conversores são responsáveis por implementar circuitos que medem a diferença entre a

corrente de entrada (que alimenta os sensores) e a de saída (valor retornado após o sensor realizar a leitura do ambiente). Além disso eles permitem realizar tanto uma leitura analógica ² quanto digital ³ dos sensores. No caso do Plante, todos os sensores estão configurados de forma analógica.

Um sensor de luminosidade (LDR) foi utilizado em conjunto com um resistor de 220 Ohms para permitir a correta leitura da luz. Já o DHT11, como é possível perceber na figura, possui três filamentos ligados a ele, enquanto um de seus conectores não está ligado a nenhum filamento. Este conector, similarmente ao YL69 e ao YL83, é responsável por fornecer dados no formato digital. Como se deseja obter um valor contínuo (25.5°C e 75% de umidade, por exemplo), então é utilizada a porta analógica (na qual está conectado o filamento de cor azul).

4.2 Plante Cloud

Figura 10 – Plante Cloud.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O Plante *Cloud* é responsável por implementar alguns mecanismos de Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) como o armazenamento, processamento de dados e gerenciamento da comunicação entre as demais camadas. Além disso, no caso do Plante, essa camada também é encarregada de gerar alertas e controlar o irrigador. Conforme mostra a Figura 10, o Plante *Cloud* é composto por três partes, o *Broker Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), o Banco de Dados e a *Application Programming Interface* (API). Destaca-se que, por estarem *online*, os componentes apresentados a seguir são acessíveis a partir de qualquer parte do mundo.

• Broker MQTT

² O modo analógico retorna valores contínuos, que são a diferença entre as correntes de entrada e saída, exemplo: 0, 0.2, 1.4, 2, 2,6 etc.

³ O modo digital retorna os valores discretos 0, indicando que não houve variação de corrente, ou 1, indicando variação. Esse modo é indicado quando se deseja saber, por exemplo, se o solo está abaixo de um determinado valor ou acima dele, sem a necessidade de saber o quanto (10%, 12% etc.) está abaixo ou acima.

Para possibilitar que a comunicação entre o Plante App e o Plante Box ocorra de forma rápida e a partir de qualquer lugar do planeta, ambos possuem integração com o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) (STANDARD, 2014). Esse protocolo foi projetado para atuar de acordo com o paradigma de comunicação *Machine to Machine* (M2M), no qual uma máquina troca informações com outra através de uma rede de computadores. Um dos diferenciais do MQTT em comparação com outros protocolos de comunicação (como o HTTP, por exemplo) é a necessidade de pouca largura de banda para transmitir seus pacotes pela rede (STANDARD, 2014). Isso se dá pelo fato de o MQTT utilizar cabeçalhos pequenos em seus pacotes de dados.

O servidor responsável por estabelecer a ponte entre o App e o Box é o Eclipse Mosquitto™ (LIGHT, 2017), um *broker open source* que implementa o protocolo MQTT. O estabelecimento da comunicação entre o Servidor MQTT e o ESP 32 se dá em duas situações: quando novos dados são coletados da planta (os quais são tratados, formatados e enviados ao *broker*); e quando o usuário (através do aplicativo) ou a API (de forma automática) envia uma requisição de execução/interrupção da irrigação da lavoura, neste caso a requisição ficará armazenada no *broker* até que o ESP faça seu *download*. Em ambos os casos, o servidor deleta os dados logo após serem baixados pelo aplicativo ou pelo ESP 32.

- **Banco de Dados**

O Banco de Dados do Plante, além de armazenar os dados dos usuários e das plantações que estes possuem, tem como principal destaque o fato de possuir dados de plantas e suas características ideais de cultivo. Em relação a essa *feature*, o banco foi modelado de tal forma a permitir o cadastro de espécies, gêneros e famílias de plantas, através do qual cada espécie está relacionada com um diferente perfil de cultivo. Esse perfil é composto por quatro entidades: clima, solo, luz e nutrientes. Os detalhes dessa *feature* são explanados na Seção 4.3, que fala sobre o Aplicativo do Especialista.

A tecnologia utilizada na construção do banco foi o MongoDB (MONGODB, 2019), um banco *open source*, escalável, multiplataforma, escrito na linguagem C++. O MongoDB é considerado um banco *NoSQL* (que não utiliza o paradigma *Structured Query Language - SQL*), e utiliza estruturas similares ao padrão *JavaScript Object Notation* (JSON) como esquemas. No Plante é utilizada sua versão *Atlas*, que é inteiramente *online*, permitindo a implementação de mecanismos de *Cloud Computing*.

- **Application Programming Interface (API)**

A API tem como principal funcionalidade o processamento de dados visando a automação do irrigador e a colaboração com a tomada de decisão dos usuários do Plante. O algoritmo desenvolvido para manipular o irrigador é "sensível ao contexto", ou seja, ele toma diferentes decisões em diferentes situações. O algoritmo analisa questões como os fatores ambientais da plantação (coletados pelos sensores) e a espécie de planta cultivada (levando em consideração suas características ideais de cultivo). Basicamente, o que o mecanismo faz é decidir a hora certa de ligar e desligar o irrigador e enviar o comando *on/off* ao Broker MQTT, que o repassará ao Plante Box, executando o comando recebido por meio do ESP 32.

Esse modelo centralizado de controle da irrigação é vantajoso em relação a um modelo distribuído, no qual o algoritmo ficaria gravado no microcontrolador (no caso do Plante, o ESP 32). Nota-se que no modelo centralizado, caso seja necessário realizar modificações no algoritmo para torná-lo melhor e mais eficiente, não é necessário reprogramar todos os microcontroladores (ESP 32). É necessário, unicamente, atualizar o código da API (que está *online*) para que todos os dispositivos conectados a ela passem a agir de acordo com o novo mecanismo.

A API também conta com um sistema de alertas para ajudar os usuários na tomada de decisões. O fluxo de execução ocorre da seguinte maneira: (i) todos os dados coletados pelo Plante Box são enviados à Camada de Rede via *Broker MQTT*; (ii) a API acessa esses dados (temperatura, umidade do ar e solo, luminosidade e chuva) e os compara às características climáticas ideais da plantação monitorada; (iii) as características que estiverem desconformes com o ideal são gravadas no banco de dados e enviadas, novamente, ao *Broker*; (iv) o Plante *App* (Aplicativo do Agricultor) captura esses dados e os exibe ao usuário, deixando-o ciente de que, naquele momento, o clima não está ideal para a planta cultivada.

Para desenvolver a API foi utilizado o NodeJS (FOUNDATION, 2019), um *framework* baseado na linguagem de programação Java Script, utilizado no desenvolvimento de APIs para servidores *web*. Algumas das principais vantagens dessa linguagem são sua grande aceitação pelo mercado, fácil integração com diversas plataformas, além de proporcionar uma programação simples, flexível e dinâmica.

Destaca-se que API se comunica com diversos componentes, não apenas da Camada de Rede, mas também da Camada de Aplicação. A API possui conexão *full duplex* com o Banco de Dados, enviando informações para serem salvas e consultando dados a respeito das plantações e dos usuários; com o *Broker MQTT*, enviando dados de controle (para o irrigador) e recebendo os dados coletados pelos sensores; e com os Aplicativos do Especialista e do Agricultor, recebendo requisições e retornando respostas a estas. A conexão entre todos esses componentes ocorre por meio de redes sem fio, como Wi-Fi ou rede telefônica (3G, 4G ou 5G).

4.3 Plante App

Conforme ilustrado na Figura 8, o Plante App é dividido em dois aplicativos: o Aplicativo do Especialista, para ser utilizado pelos profissionais do Plante, visando a geração de uma base de dados com plantas e suas características ideais de cultivo; e o Aplicativo do Agricultor, para ser utilizado pelos gestores agrícolas, através do qual eles podem acompanhar e gerenciar suas plantações à distância.

- **Aplicativo do Especialista**

Esta versão foi desenvolvida com objetivo de gerar uma base de dados com plantas e seus perfis de cultivo. Enquanto as plantas são representadas por suas famílias, gêneros e espécies, os perfis de cultivo funcionam como um manual que possui as características ideais de clima, solo, luz e nutrientes que cada espécie de planta necessita para obter um bom desenvolvimento e uma boa produção de frutas, legumes ou verduras. O aplicativo possui cinco partes, as quais são detalhadas a seguir:

Clima. O clima é um fator fundamental para o sucesso e sobrevivência de qualquer ser vivo, incluindo vegetais. Há plantas que são provenientes de clima desértico, tropical, de altitude, equatorial ou até mesmo polar, cada uma com suas peculiaridades, limitações e necessidades. Não é possível, por exemplo, cultivar uma planta de clima equatorial sob condições climáticas muito adversas de seu ambiente original. Pensando nisso, nesta parte deve ser informado o tipo de clima ao qual a planta é adaptada (tropical, subtropical, atlântico etc), as temperaturas máxima e mínima ideais, bem como as umidades relativas aceitáveis para a espécie em questão.

Solo. Aqui devem ser informados o nível de acidez (pH) e a umidade relativa do solo, destacando os níveis mínimo e máximo aceitáveis. Igualmente, devem constar os materiais de composição da terra (areia, argila, terra vegetal, humus de minhoca - terra preta, turfa e musgo *sphagnum*) com as suas respectivas porções. Uma composição de solo adequada é de grande importância para a boa nutrição e desenvolvimento das raízes. Essa coletânea de informações é útil no planejamento e preparo do solo agrícola.

Luz. Nesta parte, são informadas a intensidade da luz (forte, média, fraca ou sombra) e a quantidade de horas diárias que a planta necessita ficar exposta ao nível de luminosidade em questão. A exposição à uma luminosidade adequada também é de fundamental importância para o bom desenvolvimento das plantas, evitando o seu ressecamento (se expostas à uma quantidade de luz acima do ideal) ou estiolamento, que é o alongamento exagerado de seu caule e galhos (se expostas à uma quantidade de luz abaixo do ideal).

Nutrientes. Esta parte existe com o intuito de se cadastrar os macro e micronutrientes que uma planta necessita para obter um bom desenvolvimento e uma boa saúde. Com o preenchimento desses dados, almeja-se permitir ao agricultor a realização de uma reposição nutricional adequada para cada tipo de planta, evitando o surgimento de doenças por conta de um solo pobre em nutrientes. Através da tela de cadastro, os profissionais do Plante informam as porções de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) e micronutrientes (magnésio, cálcio, enxofre, ferro, manganês, boro, cobre, zinco, cloro e molibdênio) que a planta necessita.

Planta. Nesta parte, são informados o nome popular da planta, bem como sua família, gênero e espécie botânicas, além das características ambientais às quais a planta melhor se adequa, como nutrientes, luz, solo e clima. Isso fornece ao agricultor um perfil de cultivo específico para cada espécie de planta.

A Figura 11 apresenta dois exemplos de tela do Aplicativo do Especialista. Enquanto a Figura 11 (a) mostra uma lista com as espécies de plantas cadastradas na base de dados, a Figura 11 (b) mostra o Tomate Cereja e suas características ideais de cultivo⁴.

Destaca-se que a composição da base de dados é feita sob demanda, ou seja, à medida que vão surgindo novas demandas de usuários, novas espécies são adicionadas ao banco de dados. A coleta desses dados pode ser feita mediante quatro maneiras: através da realização de consultorias com especialistas (agrônomos, botânicos e afins); por meio da análise de artigos científicos que tratam da espécie em questão; mediante a verificação de bases de dados acadêmicas disponíveis na Internet; ou por intermédio de sites da *web* especializados em cultivo.

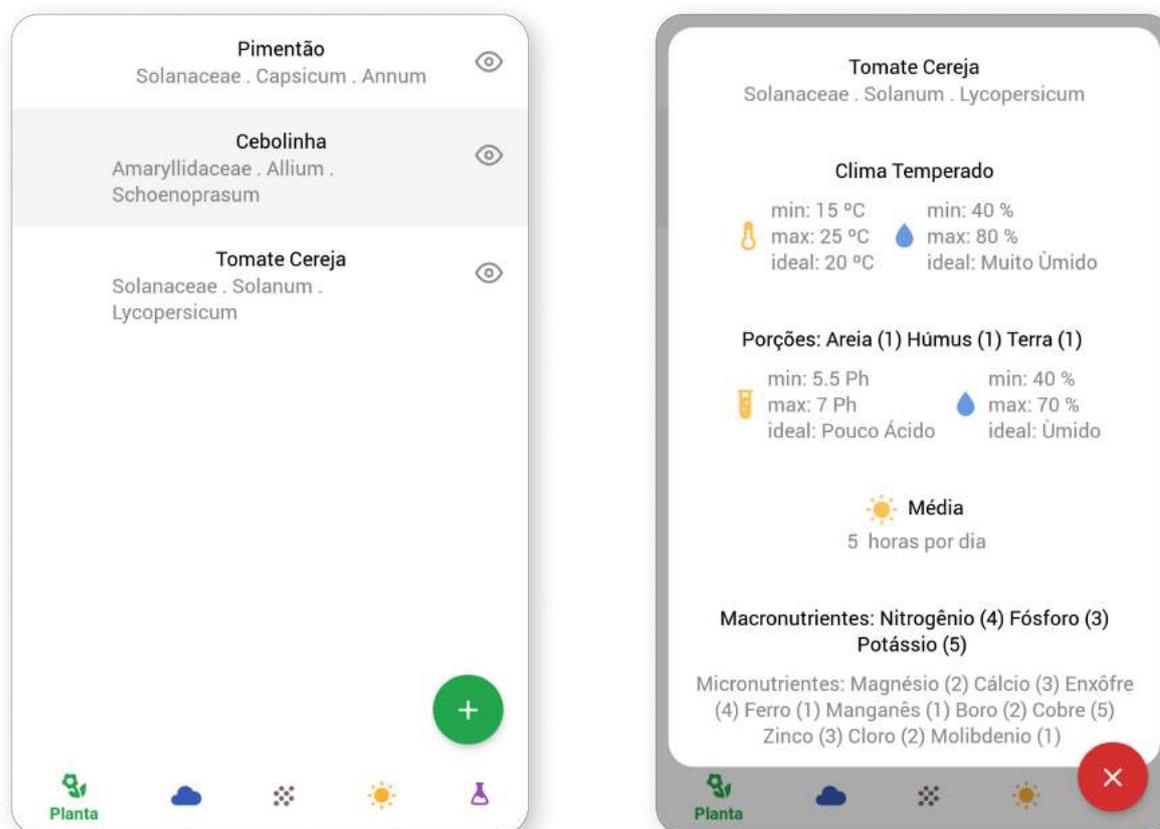
• Aplicativo do Agricultor

O Aplicativo do Agricultor foi desenvolvido objetivando auxiliar os produtores agrícolas nos processos de planejamento, monitoramento e controle de suas lavouras. O aplicativo é dividido em quatro partes principais:

Plantações. Nesta tela os gestores agrícolas podem cadastrar suas plantações, informando um nome, localização e tipo de cultura cultivada. Após o cadastro de uma nova plantação, a informação é cruzada com o Banco de Dados do Plante, a partir do qual o registro da plantação é vinculado às características ideais de cultivo da cultura em questão. Assim, o usuário tem acesso completo às características ideais de cultivo, como os tipos de clima, solo, luz e nutrientes.

⁴ Os dados foram obtidos através de pesquisas realizadas em sites especializados em cultivo (<http://www.semagro.ms.gov.br> e <https://pt.m.wikihow.com>) e parte por meio dos conhecimentos botânicos do autor deste TCC. Com exceção dos nutrientes, que possuem dados meramente ilustrativos.

Figura 11 – Exemplos de funcionalidades do Aplicativo do Especialista.



(a) Lista de plantas

(b) Perfil de cultivo do Tomate Cereja

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 12 são exibidas algumas funcionalidades do Aplicativo do Agricultor. A Figura (a) é um exemplo de tela de cadastro de plantação, a (b) mostra como fica a lista das plantações cadastradas pelo usuário, e a (c) mostra a visualização das características ideais de cultivo providas da Base de Dados do Plante para uma plantação de Tomate Cereja.

A partir dessas informações, espera-se que o agricultor obtenha avanços no processo de tomada de decisão, visto que ele possui informações precisas a respeito das condições ideais de cultivo de diferentes espécies de plantas. Além de auxiliar o agricultor durante o processo de cultivo, as informações disponíveis podem ajudá-lo no planejamento da lavoura, auxiliando-o em escolhas tais como:

- Estabelecer seu local de plantio em uma área com incidência solar intensa ou amena;
- Escolher um terreno que alaga com facilidade durante o inverno ou que permanece com um baixo grau de umidade do solo, mesmo em períodos chuvosos;

- Optar por um local arejado ou abafado;
- Selecionar a região de acordo com o tipo de composição do solo que melhor favoreça o bom desenvolvimento das raízes, reduzindo o tempo empenhado para a fertilização do solo.

Durante as etapas de execução e controle, pode-se escolher quais tipos de nutriente utilizar e em qual proporção cada um deve ser misturado.

Sensores e Irrigador. Através do aplicativo os usuários têm acesso completo, em tempo real, às características climáticas de sua plantação. Por meio da aba *Sensores* (Figura 13) é possível visualizar cinco tipos de dados: temperatura ambiente, percentual de umidade do solo, grau de luminosidade, percentual de umidade do ar e intensidade de chuva. Todos esses dados são provindos do Plante Box, o dispositivo responsável por monitorar as condições ambientais da plantação.

Na Figura 13 (a) é possível observar a temperatura e os níveis de umidade do solo. O círculo vermelho (localizado no canto superior direito do *card* de temperatura) indica que há um alerta relacionado ao dado adquirido. Na tela (c) podemos perceber o alerta gerado pela API, informando que a temperatura ambiente está incompatível com a cultura cultivada. Neste exemplo, o Tomate Cereja. No caso apresentado a temperatura está 8,6 °C acima do ideal.

Na aba *Regador*, o usuário pode acionar a qualquer momento e em qualquer lugar, por meio da Internet, a irrigação de sua plantação. Isso é possível devido a utilização do protocolo MQTT e a presença do mecanismo de irrigação no Plante Box. É importante destacar que a irrigação, por padrão, é feita de forma automática, sem a necessidade de o usuário clicar em qualquer botão. A API do Plante é a responsável por acionar automaticamente a rega no momento em que ela detecta que é a hora certa de regar a plantação. O fator que influencia nessa tomada de decisão é a comparação entre a umidade ideal e real do solo. Se a umidade real estiver abaixo da umidade ideal, então o Plante solicitará a irrigação imediata do solo.

Alertas. Além dos alertas em tempo real, que podem ser visualizados na aba *Sensores*, o aplicativo conta com um histórico de alertas (aba *Alertas*). Esta é uma tela para que os agricultores possam visualizar quais problemas ocorreram com sua lavoura ao longo do tempo. Através desse histórico, o gestor pode ver todos os alertas gerados e identificar o momento exato em que cada um ocorreu. As telas do histórico de alertas são apresentadas em maiores detalhes no Capítulo 5.

Previsão do Tempo. O Plante possui um conjunto de telas que informa a previsão de uma série de características climáticas. Atualmente, há dois tipos de visualização: uma que mostra a previsão para 12 horas (Previsão Diária) e outra para

5 dias (Previsão Semanal). Todos os dados são coletados da AccuWeather API ([ACCUWEATHER, 2019](#)), uma plataforma que disponibiliza dados de previsão meteorológica a nível global. No aplicativo, todos os dados climáticos são exibidos em forma de gráficos, facilitando a visualização e entendimento da situação climática.

Os dados exibidos pelo Plante referentes à Previsão Diária são os seguintes:

1. Temperatura (real, sensação térmica, ponto de orvalho e bulbo úmido);
2. Umidade relativa do ar (percentual);
3. Chuva (quantidade e probabilidade);
4. Vento (velocidade e sentido);
5. Radiação ultravioleta (nível e descrição).

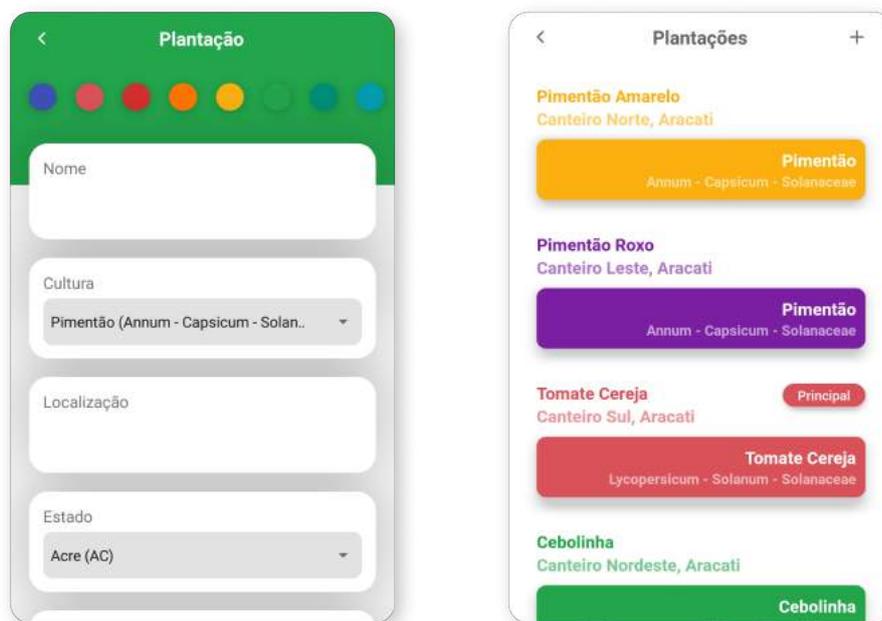
Já as informações referentes à Previsão Semanal são:

1. Temperatura (sensação térmica no sol e na sombra e temperatura real);
2. Chuva (quantidade e probabilidade);
3. Nuvens (percentual);
4. Vento (velocidade e sentido);
5. Sol (duração diária e horários de nascer e pôr do Sol);
6. Lua (horários de nascer e pôr da Lua)

Os dados 2, 3 e 4 podem ser filtrados pelo dia ou pela noite (ex: chuva durante o dia).

Nas Figuras 14 (a) e (b), referentes à Previsão Diária (12 horas), é possível ver exemplos de previsão da Temperatura e Umidade (do ar), respectivamente. Ambas as telas mostram uma previsão do dia 27/12/2019 para a cidade de Aracati-CE para o intervalo entre 2 e 6 horas da manhã. Para visualizar os demais horários, o usuário pode deslizar o gráfico para a esquerda ou a direita. Já as Figuras 14 (c) e (d) mostram a Previsão Semanal (5 dias) da Chuva e Vento, respectivamente. Percebe-se que na segunda-feira (30/12/2019), no período noturno, a probabilidade de chuva, durante a noite, é de 64% e o volume esperado é de 1.8 milímetros. Enquanto o vento, na mesma data, durante o dia, tem velocidade média de 18.5 km/h e sentido Leste (L).

Figura 12 – Exemplos de telas de plantação do Aplicativo do Agricultor.



(a) Cadastro de plantação

(b) Lista de plantações



(c) Perfil de cultivo da plantação de Tomate Cereja

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 – Exemplos de telas de sensoriamento do Aplicativo do Agricultor.



(a) Temperatura e Umidade do solo



(b) Luminosidade e Umidade do ar



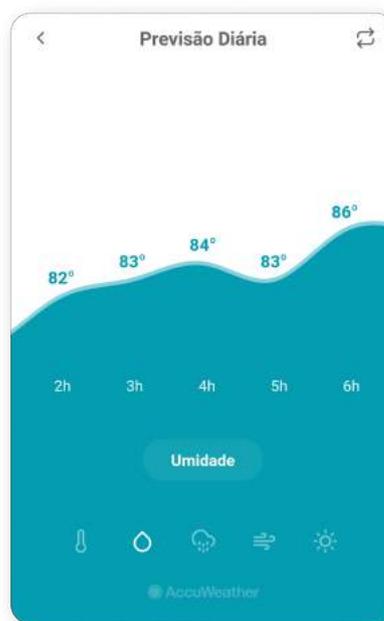
(c) Alerta de Temperatura

Fonte: Elaborada pelo autor.

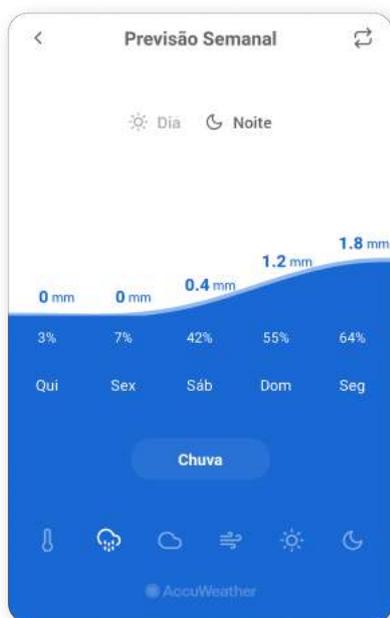
Figura 14 – Exemplos de telas de previsão de tempo do Aplicativo do Agricultor.



(a) Previsão Diária de Temperatura



(b) Previsão Diária de Umidade do Ar



(c) Previsão Semanal de Chuva



(d) Previsão Semanal do Vento

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 ESTUDO DE CASO

No Capítulo 4 foi apresentado o Plante, uma solução baseada em Internet das Coisas (IoT) que visa permitir o cuidado de plantas com pouca necessidade de intervenção humana. Além disso, a plataforma proposta visa apoiar o processo de tomada de decisão dos gestores agrícolas e utilizar os recursos hídricos (destinados à irrigação) de forma eficiente. Como estudo de uso para realizar a validação da proposta e averiguar o funcionamento e eficácia do Plante, o protótipo apresentado foi utilizado para realizar o monitoramento e irrigação de mudas de Tomate Cereja.

A Figura 15 mostra o cenário onde o Plante Box e os vasos com as mudas de Tomate Cereja foram implantados. À direita encontra-se o vaso monitorado e irrigado pelo Plante Box (de 09/12/2019 a 12/01/2020, 34 dias), enquanto o outro vaso, à esquerda, que não possui qualquer tipo de automação, foi irrigado manualmente. Na imagem também é possível ver uma mangueira controlada pelo Irrigador, o Sensor de Umidade do Solo no vaso da direita, e o sensor de Chuva sobre a mesa. O estojo translúcido contém os demais componentes do Plante Box, conforme o circuito exibido na Figura 9.

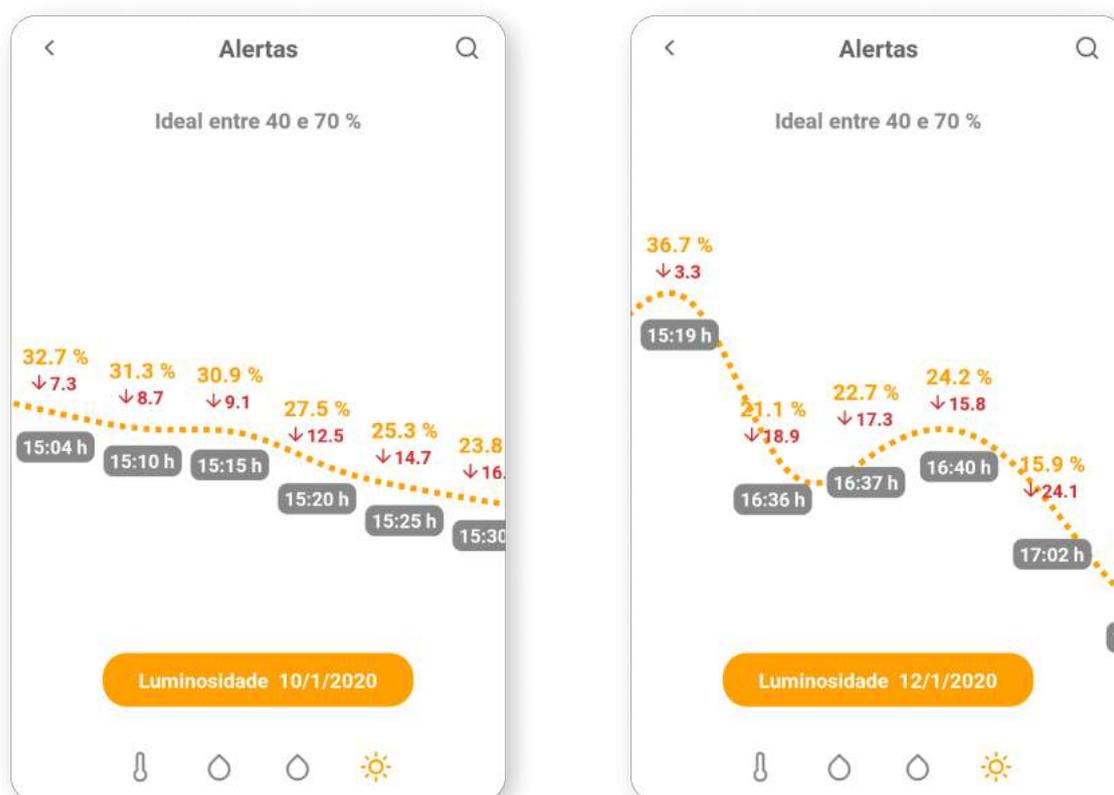
Figura 15 – Plante Box e Mudanças de Tomate Cereja.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Destaca-se que o ambiente onde o estudo de caso foi implementado é um local úmido, com pouca incidência de iluminação (não recebendo radiação solar direta) e com temperaturas em torno de 32°C. Esta situação climática não é ideal para a espécie de planta cultivada, tendo sido, por isso, escolhida para averiguar como o Plante se comporta diante de situações adversas para as plantas. Por exemplo, observando se os alertas são gerados de forma adequada, fazendo com que o cultivador perceba se aquele é um ambiente adequado ou não.

Figura 16 – Alertas de Luminosidade.



(a) Alertas do dia 10/01/2020

(b) Alertas do dia 12/01/2020

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 16 mostra duas telas com alertas de luminosidade. Percebe-se que todos os alertas indicam luminosidades abaixo do ideal para o Tomate Cereja, variando de 3.3 a 24.1% abaixo do nível mínimo (40%). Alertas indicando luminosidades abaixo do ideal ocorreram durante todos os dias em que o Plante Box esteve ligado. Com isso, o cultivador pode detectar que o ambiente possui carência de radiação solar e realocar as mudas para um local adequado. O resultado esperado dessa carência de luz é o estiolamento, condição na qual as plantas apresentam folhas pequenas, caule mais longo que o normal e coloração branco-amarelada, por causa da ausência de clorofila (EDUCACIONAL, 2019).

Figura 17 – Alertas de Temperatura.



(a) Alertas do dia 20/12/2019

(b) Alertas do dia 12/01/2020

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 17 mostra dois gráficos com os alertas de temperatura entre os dias 20/12/2019 (de 9:50 às 10:11h) e 12/01/2020 (de 15:18 às 17h). Percebe-se que todos os alertas indicam temperaturas acima do ideal para o Tomate Cereja, variando de 4.4 a 7.8°C acima do valor máximo (25°C). Alguns dos efeitos negativos das temperaturas elevadas para as plantas são a redução do crescimento, saúde e produção frutífera (HASANUZZAMAN et al., 2013). Com base nos alertas, o tomador de decisões pode optar por utilizar uma cultura de planta mais adequada ao ambiente em questão, ou realocar as mudas para um ambiente mais frio.

Os alertas de umidade do solo, como visto na Figura 18, foram gerados quando o substrato estava com uma quantidade de água inferior à mínima (40%) necessária para a produção do Tomate Cereja. É perceptível que houve poucos alertas durante os dois dias apresentados, já que, no momento em que foram detectadas as baixas umidades, o mecanismo de irrigação foi imediatamente acionado elevando a umidade a um nível ideal.

Em relação à umidade do ar (Figura 19), durante a maior parte do tempo (09/12/2019 a 02/01/2020) houve alertas em menor quantidade e com valores mais

Figura 18 – Alertas de Umidade do Solo.



(a) Alertas do dia 29/12/2019

(b) Alertas do dia 2/01/2020

Fonte: Elaborada pelo autor.

baixos se comparados aos alertas de temperatura e luminosidade. A situação mudou a partir do dia 03/01/2020, quando teve início o inverno e a umidade relativa do ar aumentou. É possível ver que no dia 28/12/2019, entre o período de 22:35 até 22:40h, a umidade se manteve constante (5% acima do ideal), enquanto no dia 12/01/2020 ela variou entre 7 e 14% acima do máximo (80%).

Já em relação à chuva, a medição ficou zerada, pois as mudas ficaram em um lugar coberto, não expostas a possíveis precipitações. Destaca-se também que não foram gerados alertas em relação a este último parâmetro, pois o resultado prejudicial que a chuva pode causar (inundação da plantação) é medido pelo sensor de umidade do solo. O sensor de chuva, atualmente, é utilizado com objetivo único de informar ao usuário se está chovendo ou não (e qual o percentual¹).

Destaca-se que, apesar de os alertas indicarem que o ambiente não era ideal

¹ O percentual de chuva é representado por um valor entre 0 (indicando que não há chuva) e 100% (indicando que há chuva forte). A leitura do sensor YL83 indica 100% quando sua superfície fica completamente molhada durante o período de 1.5 segundo, permitindo que a corrente do polo positivo do sensor seja completamente repassada ao polo negativo, utilizando a água da chuva como condutor.

Figura 19 – Alertas de Umidade do Ar.



(a) Alertas do dia 28/12/2019

(b) Alertas do dia 12/01/2020

Fonte: Elaborada pelo autor.

ao cultivo de Tomate Cereja, as mudas não foram realocadas para um local adequado, com intuito de demonstrar as consequências negativas causadas às plantas caso o agricultor não tome providências diante dos alertas fornecidos pelo Plante App.

A Figura 20 mostra uma fotografia (efetuada em 12/01/2020) com o vaso monitorado pelo Plante Box (à direita) e o controlado manualmente (à esquerda). É perceptível que as mudas à direita estão um pouco maiores que as demais, provavelmente devido à melhor gestão da umidade do solo. Entretanto, todas as mudas apresentam problemas de saúde. Devido à baixa luminosidade, todas as plantas apresentaram estiolamento, folhas pequenas e, algumas, de cor amarelada. Além disso, devido às altas temperaturas (e também a baixa luminosidade), as mudas apresentaram um crescimento lento. Em relação à umidade do ar elevada, não puderam ser vistas consequências pelo fato de as mudas passarem pouco tempo sob essa condição.

Os fatos apresentados demonstram que o mecanismo de alertas (implementado pela API, tomando como base o perfil de cultivo das plantas) é:

- **Acurado.** Levando-se em conta que o Plante alertou sobre a luminosidade estar

Figura 20 – Mudas de Tomate Cereja

Fonte: Elaborada pelo autor.

abaixo do ideal e a temperatura estar acima do ideal, e os resultados negativos causados por essas duas circunstâncias (plantas estioladas, com folhas pequenas, amareladas e frágeis) puderam ser vistos nas plantas.

- **Indispensável.** Através do Plante o agricultor pode tomar decisões para tornar o ambiente mais adequado à planta, evitando que elas adoeçam e morram.

Por outro lado, destaca-se que a umidade do solo (fator controlado, automaticamente, por meio do Irrigador) manteve-se adequada durante o tempo em que as mudas estiveram aos cuidados do Plante. Além da umidade do solo, a umidade do ar manteve-se adequada durante mais da metade do tempo. A falta de saúde das plantas deu-se por conta da inadequabilidade da luminosidade e da temperatura.

6 CONCLUSÕES

Os principais impactos do Plante podem ser percebidos em dois principais aspectos: (a) Melhoria nos processos de gestão agrícola, através da disponibilização de uma série de informações ao gestor, como (i) a visualização das condições ideais de cultivo para um determinado tipo de planta e de como, de fato, encontram-se tais condições, (ii) previsão meteorológica integrada, fornecendo a previsão de diversos aspectos climáticos que influenciam diretamente nos resultados obtidos na lavoura, como temperatura, incidência de chuva, intensidade de radiação ultravioleta, velocidade e sentido do vento, umidade relativa do ar dentre outras; e (b) Eficiência no processo de irrigação, haja vista que o mecanismo só é ligado no exato momento em que for necessário, sendo desligado quando a umidade do solo atingir o nível ideal.

É possível perceber que diante de situações adversas o Plante se comportou exatamente como esperado, informando ao gestor agrícola, em tempo real, quais características estão desconformes com o ideal para a cultura cultivada, permitindo que o agricultor tome decisões em tempo hábil. Além disso, como explanado no Capítulo 5, foi perceptível que os alertas gerados foram precisos, ficando claras as consequências causadas às plantas diante do fato de o cultivador ter ignorado os alertas.

Como trabalhos futuros, pretende-se implementar um mecanismo de sugestões aliado aos alertas. Quando o Plante alertar que a planta está recebendo mais luz solar que o necessário, por exemplo, o Plante também poderá sugerir que o cultivador realoque sua planta para um local com menos incidência solar ou implante uma cobertura sobre sua plantação. Isso facilitará ainda mais o processo de tomada de decisão. Além disso, deseja-se utilizar inteligência artificial para averiguar se, de fato, a base de dados do Plante, que contém informações ideais de cultivo, possui soluções ótimas. Isso será feito através do cruzamento dos dados existentes na base com os dados obtidos pelos sensores e com o grau de eficácia apontado pelos cultivadores. Assim, a aplicação, de forma inteligente e autônoma, realizará modificações em seu banco a partir de experiências conhecidas, o que resultará em informações cada vez mais precisas.

REFERÊNCIAS

- ACCUWEATHER. *AccuWeather API*. 2019. Disponível em: <<https://developer.accuweather.com/>>. Citado na página 46.
- AGGARWAL, R.; DAS, M. L. Rfid security in the context of "internet of things". In: *SECURIT*. [S.l.: s.n.], 2012. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- AGRAWAL, D. V. S. A survey on internet of things. v. 1, p. 78–95, 2013. ISSN 2316–9451. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.
- AGROPECUÁRIA, E. B. de P. *Tecnologias da Informação e Comunicação e suas relações com a agricultura*. 1. ed. [S.l.]: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014. Citado na página 16.
- AGROPECUÁRIA, E. B. de P. *Manejo Integrado de Pragas poderia economizar R\$4 bilhões na produção nacional de soja*. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/39653077/manejo-integrado-de-pragas-poderia-economizar-r4-bilhoes-na-producao-nacional-de-soja>>. Citado na página 16.
- Al-Qaseemi, S. A. et al. lot architecture challenges and issues: Lack of standardization. In: *2016 Future Technologies Conference (FTC)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 731–738. ISSN null. Citado na página 21.
- ASHTON, K. That 'internet of things' thing. *RFID Journal*, 06 2009. Citado na página 19.
- AUSTERJOST, J. et al. Introducing a virtual assistant to the lab: A voice user interface for the intuitive control of laboratory instruments. *SLAS TECHNOLOGY: Translating Life Sciences Innovation*, v. 23, n. 5, p. 476–482, 2018. PMID: 30021077. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/2472630318788040>>. Citado na página 24.
- BURHAN, M. et al. lot elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey. *Sensors*, v. 18, 08 2018. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- BØGH S., H. M. K. M. . M. O. Autonomous industrial mobile manipulation (aimm). In: *Proceedings of the 42nd International Symposium on Robotics*. [S.l.]: VDE Verlag GMBH, 2011. Citado na página 22.
- Cai Meng et al. Remote surgery case: robot-assisted teleneurosurgery. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004*. [S.l.: s.n.], 2004. v. 1, p. 819–823 Vol.1. ISSN 1050-4729. Citado na página 22.
- CELESTRINI RENATO N. ROCHA, E. B. S. C. A. S. S. J. G. P. F. J. R.; ANDREÃO, R. V. An architecture and its tools for integrating iot and bpmn in agriculture scenarios. *The 34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.

- Chen, S. et al. A vision of iot: Applications, challenges, and opportunities with china perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 1, n. 4, p. 349–359, Aug 2014. ISSN 2372-2541. Citado na página 26.
- CO., L. E. S. S. *ESPRESSIF*. 2019. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en>>. Citado na página 35.
- CÂNCER, I. N. de. Posicionamento do instituto nacional de câncer josé alencar gomes da silva acerca dos agrotóxicos. In: (INCA), I. N. de C. (Ed.). [S.l.]: Ministério da Saúde, 2015. Citado na página 15.
- DUPONT, C.; COUSIN, P.; DUPONT, S. lot for aquaculture 4.0 smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with iot. In: . [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–5. Citado na página 28.
- EDUCACIONAL. *Estiolamento*. 2019. Disponível em: <http://www.educacional.com.br/recursos/conteudomultimedia/21/biologia/des_vegetal/impresao/impresao.htm>. Citado na página 51.
- ENTERPRISE, H. P. The internet of things: Today and tomorrow. In: . [s.n.], 2017. Disponível em: <http://chiefit.me/wp-content/uploads/2017/03/HPE-Aruba_IoT_Research_Report.pdf>. Citado na página 26.
- ESTATÍSTICA, I. B. de Geografia e. Levantamento e classificação de uso da terra. In: GEOCIÊNCIAS, D. de (Ed.). [S.l.]: IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Citado na página 15.
- FOOD; NATIONS, A. O. of the U. Crop prospects and food situation. In: *Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture*. [S.l.]: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. Citado na página 14.
- FOUNDATION, O. *NodeJS*. 2019. Disponível em: <<https://nodejs.org/en/>>. Citado na página 41.
- Frustaci, M. et al. Evaluating critical security issues of the iot world: Present and future challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 5, n. 4, p. 2483–2495, Aug 2018. ISSN 2372-2541. Citado na página 26.
- GUBBI, J. et al. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, v. 29, 07 2012. Citado na página 20.
- Hamouda, Y. E. M.; Elhail, B. H. Y. Precision agriculture for greenhouses using a wireless sensor network. In: *2017 Palestinian International Conference on Information and Communication Technology (PICICT)*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 78–83. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 32.
- HASANUZZAMAN, M. et al. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, v. 14, p. 9643–84, 05 2013. Citado na página 52.
- HERNANDEZ ORLANDO ARIAS, D. B. G.; JIN, Y. Smart nest thermostat a smart spy in your home. In: . [S.l.: s.n.], 2014. Citado na página 22.

- INSTITUTE, W. R. Creating a sustainable food future. In: MATTHEWS, E. (Ed.). *A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050*. [S.l.]: World Resources Report, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 35.
- ITU, I. T. U. Itu internet reports 2005: The internet of things. In: . [s.n.], 2005. Disponível em: <https://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings-/InternetofThings_summary.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- Khan, R. et al. Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. In: *2012 10th International Conference on Frontiers of Information Technology*. [S.l.: s.n.], 2012. p. 257–260. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- Khanna, A.; Anand, R. lot based smart parking system. In: *2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 266–270. Citado na página 23.
- LIGHT, R. A. Mosquitto: server and client implementation of the mqtt protocol. *The Journal of Open Source Software*, The Open Journal, v. 2, n. 13, p. 265, 5 2017. ISSN 2475-9066. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21105/joss.00265>>. Citado na página 40.
- LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *SciELO Analytics*, revista@saudeemdebate.org.br, v. 42, n. 117, p. 522–523, 2018. Citado na página 15.
- MADAKAM, S.; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, S. Internet of things (iot): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, v. 3, p. 164–173, 04 2015. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- Miao Wu et al. Research on the architecture of internet of things. In: *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTE)*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 5, p. V5–484–V5–487. ISSN 2154-7491. Citado na página 22.
- MONGODB, I. *MongoDB*. 2019. Disponível em: <<https://www.mongodb.com/>>. Citado na página 40.
- NATIONS, U. World population prospects 2019. In: DIVISION, P. (Ed.). *Highlights*. [S.l.]: United Nations - Department of Economic and Social Affairs, 2019. Citado na página 14.
- NETO, G. V. A. et al. Surfaces categorization based on data collected by bike sensors. In: *Proceedings of the Euro American Conference on Telematics and Information Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2018. (EATIS '18), p. 32:1–32:7. ISBN 978-1-4503-6572-7. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3293614.3293625>>. Citado na página 22.
- OLIVEIRA, R.; BRAGA, R.; OLIVEIRA, C. Plante: An Intelligent Platform for Monitoring and Controlling of Agricultural Environments. In: MENA, F. M. et al. (Ed.). *8th International Workshop on ADVANCEs in ICT Infrastructures and Services (ADVANCE 2020)*. Cancún, Mexico, 2020. (Proc. of the 8th International Workshop on ADVANCEs in ICT Infrastructures and Services (ADVANCE 2020)), p. 1–8. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02495231>>. Citado na página 18.

- PATRICIO, T. et al. Internet das coisas (iot): As consequências da computação ubíqua na sociedade. *COLLOQUIUM HUMANARUM*, v. 15, p. 83–93, 01 2018. Citado na página 24.
- RESEARCH, L. Uma introdução à internet das coisas (iot). *Lopez Research LLC*, 2013. Citado na página 19.
- SAÚDE, M. da. *Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos*. 1. ed. [S.l.]: Secretaria de Vigilância em Saúde e Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador, 2018. Citado na página 15.
- SHAH, S. H.; YAQOOB, I. A survey: Internet of things (iot) technologies, applications and challenges. In: *2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 381–385. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- SRBINOVSKA, M. et al. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks. *Journal of Cleaner Production*, v. 88, 05 2014. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- STANDARD, O. *MQTT Version 3.1.1*. 2014. Disponível em: <<http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>>. Citado na página 40.
- SUMA, N. et al. Iot based smart agriculture monitoring system. In: . [S.l.: s.n.], 2017. v. 5, p. 177–181. ISSN 2321-8169. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 31.
- SUNDMAEKER, H. et al. Vision and challenges for realizing the internet of things. *Cluster of European Research Projects on the Internet of Things, European Commission*, 04 2010. Citado na página 19.
- TEAM, N. *nodemcu@nodemcu.com*. 2019. Disponível em: <https://www.nodemcu.com/index_en.html>. Citado na página 35.
- Xu, L. D.; He, W.; Li, S. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 10, n. 4, p. 2233–2243, Nov 2014. ISSN 1941-0050. Citado na página 16.
- ÁGUAS, A. N. de. Atlas irrigação. In: (SPR), S. de Planejamento de R. H. (Ed.). *Uso da Água na Agricultura Irrigada*. [S.l.]: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2017. Citado na página 15.
- ČOLAKOVIĆ, A.; HADŽIALIĆ, M. Internet of things (iot): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer Networks*, v. 144, p. 17 – 39, 2018. ISSN 1389-1286. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128618305243>>. Citado na página 26.