

Smart Plant: uma proposta de desenvolvimento saudável de plantas domésticas por meio de Internet Social das Coisas

Claudene Oliveira Gonçalves¹, Airton Yassushiko Coppini Toyofuku¹,
Erica Vilela¹, Alessandro Santiago dos Santos¹

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP – (IPT)
Av. Prof. Almeida Prado, 532 – Butantã – São Paulo – SP – Brasil

{claudene.goncalves,airton.toyofuku,erica.vilela}@ensino.ipt.br,
alesan@ipt.br

Abstract. *With population growth, several crop techniques have been developed in urban environments, such as vertical farms. The use of Internet of Things concepts enables the continuous and individual monitoring of each crop remotely, in addition to allowing the automation of control of environment variables, with the aim of making the crop more sustainable and efficient. In a domestic environment, the level of knowledge about which factors can improve the healthy development of each plant is reduced, thus a collaborative network of information exchange promotes knowledge of these factors, in a kind of social network of plants, which look for which factors are more suitable for their own development.*

Resumo. *As fazendas verticais tem sido desenvolvidas como uma das técnicas de cultivo em ambiente urbano, compostos de ambiente tecnicamente monitorado. Em ambiente doméstico, a Internet das Coisas possibilita o monitoramento contínuo e individual de cada cultivo, além de permitir a automação de controle de variáveis de ambiente. No entanto, neste ambiente é reduzido o nível de conhecimento e controle sobre quais fatores podem melhorar o desenvolvimento saudável de cada planta. Este artigo apresenta uma espécie de rede social das plantas que troca informações sobre as condições de seu desenvolvimento, de forma colaborativa e automática, como uma alternativa distribuída para usar a estratégia mais adequada e eficiente para o seu desenvolvimento, com base no conhecimento gerado pelo grupo de plantas da mesma rede.*

1. Introdução

O crescimento populacional, principalmente nos grandes centros urbanos, vem aumentando com uma taxa inversamente proporcional a produção de alimentos no mundo. Para intensificar negativamente este cenário, a crise econômica ocasionada pela pandemia de Covid impactou diretamente a população mais pobre no que diz respeito ao acesso a alimentação. Novas formas de cultivos de alimentos vêm sendo discutidas, desenvolvidas e aprimoradas, e como consequência surgem os projetos de fazendas inteligentes urbanas (Urban Smart Farm), representando uma nova visão sobre a produção de alimentos associada ao uso de IoT (Internet of Things), que associa uma produção sustentável ao uso da tecnologia para maximizar o uso dos recursos disponíveis, além de monitorar, processar e analisar dados do cultivo.

Neste contexto, surge uma oportunidade onde plantas domésticas poderiam ser instrumentadas com dispositivos IoT e terem o seu desenvolvimento monitorado, observando quais são os fatores que promovem um melhor ou pior desenvolvimento da planta. Uma base de conhecimento poderia ser formada, onde grupos de proprietários de plantas ornamentais ou comestíveis, poderiam formar uma rede social, entre as próprias plantas, seguindo o conceito de Internet Social das Coisas, que segundo [Atzori et al. 2012], configura um tipo de relacionamento social entre os objetos que é realizada sem ou com mínima intervenção humana. Assim, dentro de uma determinada rede social de objetos, um objetivo-chave realiza a publicação de informações e promove a integração em uma rede de "amigos" de forma sensível ao contexto, seja pela proximidade, características comuns ou pelas regras de controle estabelecidas pelo proprietário.

A proposta do Smart Plant consiste em uma rede colaborativa de troca de informações sobre desenvolvimento de plantas, visando otimizar o processo de cultivo, por meio de um sistema IoT de monitoramento de plantas em ambiente doméstico, no qual são monitorados temperatura e umidade do ambiente, umidade do solo, CO_2 e luminosidade. Todos os dados captados pelos sensores são enviados via *WiFi* para a plataforma IoT em nuvem, onde os proprietários poderão acompanhar em tempo real via *dashboards*, informações como: série histórica dos dados, alertas sobre temperatura e umidade do solo. Diferente de soluções puramente informativas, os proprietários informam a condição de saúde da planta e informações adicionais (cidade, espécie, etc.), para permitir a correlação com os dados coletados. Estas informações formam uma base de conhecimento, que permite conhecer os fatores que promoveram um bom ou mal desenvolvimento da planta, a qual pode ser compartilhada em um processo de rede colaborativa, seguindo o princípios de Internet Social das Coisas - SIIoT ([Atzori et al. 2012, Leal et al. 2013]). Assim se propõe que a troca de informações possa ser automatizada, construindo um aprendizado entre as plantas de forma supervisionada pelos seus proprietários, permitindo otimizar os processos de cultivo.

Neste artigo é apresentado um protótipo aberto, que pode ser utilizado por qualquer pessoa que queira integrar a rede social do SmartPlant, no contexto de cultivo de plantas comestíveis ou ornamentais, em ambientes doméstico, com facilidade de utilização do sistema e custo acessível para a construção da solução proposta.

2. Proposta de um modelo conceitual para SIIoT das plantas

A criação de uma SIIoT permite a troca de informação entre usuários (neste caso as Plantas) que façam parte da mesma rede, fomentando uma base de conhecimento sobre o desenvolvimento delas. Realizando uma analogia às redes sociais, conceitualmente o hardware/software da Planta irá se comportar como um publicador de postagens do desenvolvimento da planta, informando dados sobre seu desenvolvimento, ao mesmo tempo, ele verificará as postagens de outras plantas, podendo receber sugestões de alterações de parâmetros que deram certo com as outras plantas, assim as plantas podem colaborar em uma SIIoT publicando, trocando experiências e ajustando características para o melhor desenvolvimento considerando uma operação colaborativa e comunitária.

O código do dispositivo com sensores da SmartPlant está disponível na plataforma GitHub (<https://github.com/toyusan/mestrado-ipt-iot-biohealth-urban-smart-farming>) e a Figura 1

apresenta a proposta arquitetural da solução de SIoT, assim como os componentes desta arquitetura que são:

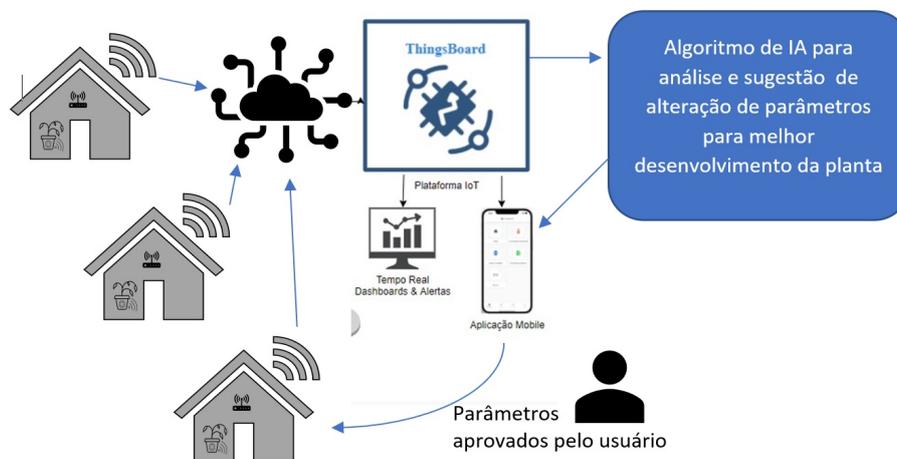


Figura 1. Modelo conceitual para a Internet social das Plantas

- Sensores IoT de monitoramento da Planta. Cada planta está monitorada pelo equipamento demonstrado na seção 4, o qual se comunica por *WiFi* com a rede local da residência, que possibilita a conexão com a Internet, e envia os dados para a plataforma de IoT.
- Plataforma de IoT. Esta acumula informações de diversas plantas, possibilitando que os proprietários possam monitorar remotamente o desenvolvimento da planta. Ao mesmo tempo, permite criar uma base de conhecimento, sobre o desenvolvimento de Plantas, as quais podem ser agrupadas por características comuns, seja por proximidade de localização, espécie, ou demais parâmetros similares.
- Aplicativo móvel. Visualiza os *dashboards* do desenvolvimento da planta, associando fotos e informações sobre a saúde da planta, e pode compartilhar dados com especialistas para opiniões profissionais, que podem servir para calibrar o sistema de IA. Além disso, possibilita ao proprietário escolher ou não, as sugestões dos algoritmos de IA e aplicar alterações no sistema.
- Algoritmo de IA. Realiza as correlações entre os parâmetros da planta, com as informações da plataforma, que congrega dados da base de conhecimento gerada por todas as plantas integradas na plataforma, assim sugerindo ao proprietário alterações no sistema de irrigação de forma automática, ou mesmo solicitando ao proprietário mudar as condições de iluminação das plantas.

Considerando que a base de conhecimento possua uma quantidade de dados capturados pela SIoT, pode-se aplicar o algoritmo de redes neurais LSTM (Long Short Term Memory), afim de aprender sobre os melhores parâmetros de cada planta, como luminosidade, tipo de adubo, quantidade de terra dado uma região do país ou cenário doméstico onde a planta se encontra, e a até mesmo, sugerindo buscar um especialista devido a um problema detectado no desenvolvimento. O artigo de [Gill et al. 2021] demonstra uma acurácia de 93% em previsões de fatores relacionados a plantações em fazendas utilizando LSTM e seguindo o mesmo conceito é possível aplicar o algoritmo para fazer previsão de plantações urbanas e domésticas. Tais fatores serão utilizados também para

calibrar o dispositivo IoT da solução SmartPlant, visando a eficiência da solução para diferentes cenários.

3. Trabalhos correlatos

Objetivando encontrar soluções similares, foram realizadas buscas de publicações científicas em bases indexadas, tais como a Web of ScienceTM e IEEE Explorer. As buscas limitaram-se a artigos em inglês e publicados entre os anos de 2018 e 2022, visando obter o estado da arte sobre o assunto. Para cada tipo de fenômeno, utilizou-se uma *string* de busca específica, de forma a obter as publicações mais relevantes em cada área. Os resultados finais foram validados por um professor e especialista em IoT (co-autor deste artigo), de forma a considerar os artigos que apresentavam características técnicas relevantes e associadas à IoT, como base de comparação mais adequada para uma análise sistematizada dos artigos.

Utilizou-se a *string* de busca: ("Urban Smart Farming" or "smart home farming", or "urban farming") and ("internet of things", "IOT"), cujos termos foram os que apresentaram uma alta relevância e melhor correlação entre autores e publicações. Após filtragem e remoção de duplicatas, restaram 15 publicações que foram analisadas de acordo com os parâmetros de utilização de sistemas IoT para monitoramento e controle de plantações urbanas, sendo que todos eles apresentam uma abordagem científica do tipo experimental.

Dentre os artigos selecionados, apenas [Rangarajan et al. 2018] não utiliza conceitos de IoT, apesar de usar um sistema de monitoramento baseado em Arduino, em que é analisada, como a planta reage a diferentes tipos de iluminação de *LED*, uma vez que não é empregado o uso de sensores e os dados são armazenados e analisados a posteriori.

Dos 14 artigos restantes, apenas [Podder et al. 2021] não especifica o meio de comunicação utilizado, [Jie Ong et al. 2019] utiliza uma combinação de *WiFi* e *Bluetooth*, [Namgyel et al. 2018] utiliza uma combinação de *WiFi*, *Bluetooth* e *Zigbee*. Os demais artigos dos autores [Belista et al. 2018], [Butt et al. 2019], [Kodali and Valdas 2018], [Mohd Ariffin et al. 2021], [Muladi et al. 2021], [Saad et al. 2021], [Stevens and Shaikh 2018], [Sunehra and Srinidhi 2020], [Tan et al. 2020], [Tolentino et al. 2019], utilizam somente *WiFi* como meio de comunicação. As publicações selecionadas abordam o tema de forma similar, utilizando sensores para medir alguma grandeza do ambiente, sendo a medição de temperatura e umidade do ambiente a que tem maior presença, além disso, [Tan et al. 2020], [Muladi et al. 2021], [Stevens and Shaikh 2018], [Tolentino et al. 2019] e [Butt et al. 2019] também utilizam sensores para leitura do *pH* do solo. [Mohd Ariffin et al. 2021], [Jie Ong et al. 2019] e [Namgyel et al. 2018] utilizam sensores de luminosidade baseados em *LDR* e [Stevens and Shaikh 2018] também utiliza sensores para medir o *CO2*. Os dados são enviados para servidores, onde são armazenadas e apresentadas ao usuário. Em todas as publicações há o registro das ações que são tomadas com base nas informações provenientes das grandezas medidas, como acionamento de sistemas de ventilação ou irrigação, como aplicado por [Tan et al. 2020] e [Mohd Ariffin et al. 2021], sendo essa decisão tomada de forma autônoma pelo dispositivo ou pelo servidor. Como *hardware* base, [Tan et al. 2020], [Stevens and Shaikh 2018] e [Tolentino et al. 2019] utilizam uma combinação de Arduino com *RaspberryPi*, [Kodali and Valdas 2018] utiliza uma combinação de ESP32 com *RaspberryPi*, e [Butt et al. 2019] e [Mohd Ariffin et al. 2021]

Artigos	[Tan et al. 2020]	[Saad et al. 2021]	[Stevens and Shaikh 2018]	[Tolentino et al. 2019]	[Mohd Ariffin et al. 2021]	[Butt et al. 2019]	SMARTPLANT
Tipo de Planta	Alface Hidropônica	Múltiplas	Cogumelos	Alface Hidropônica	Múltiplas	Alface Hidropônica	Múltiplas
Rede	Wi-Fi	Múltiplas	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi
Protocolo	MQTT	Múltiplos	MQTT				HTTP
Plataforma	Própria		Própria				ThingsBoard
Servidor	Cloud AWS		Cloud Node-Red			Cloud Google	Cloud AWS
Banco de Dados	MongoDB		MongoDB			Spreadsheet	PostgreSQL
Dados Externos	artigos	artigos	artigos	artigos	artigos	artigos	artigos
Aplicação	Web e Mobile	Web e Mobile	Web	Mobile	Mobile	Mobile	Mobile
Microcontrolador	Arduino + Rasp.	Arduino + Rasp.	Arduino + Rasp.	Arduino + Rasp.	ESP8266	ESP8266	ESP32
Sensor LDR			x	x	x	x	x
Sensor Temp.	x	x	x	x	x	x	x
Sensor Humid. Ar	x	x	x	x	x	x	x
Sensor Humid. Solo	x	x		x	x		x
Sensor CO2			x				x
Bomba D'Água	x			x	x	x	x

Tabela 1. Relação de tecnologias utilizadas em artigos correlatos

utilizam apenas o ESP32.

Nenhum dos artigos especifica uma plataforma aberta para o uso de IoT, sendo que [Tan et al. 2020] utiliza um *MongoDB* junto com a *Amazon Web Services*, [Stevens and Shaikh 2018] também utiliza *MongoDB* mas integrado com *Cloud do Node-Red*, já [Kodali and Valdas 2018] utiliza um *database* nativo no sistema operacional da *RaspberryPi* e [Butt et al. 2019] utiliza o *Firebase* e o *Spreadsheet* do *Google Cloud*.

No contexto deste artigo, considerando os artigos correlatos, são utilizados *hardwares* de baixo custo, sendo sensores de temperatura, umidade, luminosidade e níveis de CO^2 do ambiente, e um sensor de *pH* do solo. As informações são coletadas por um microcontrolador, que as envia para uma plataforma IoT através do *WiFi*. As grandezas são controladas de forma a propiciar um melhor aproveitamento da plantação. As informações são disponibilizadas através de um aplicativo *Android* e armazenadas em um banco de dados para análises futuras. A tabela 1 apresenta uma comparação de tecnologias aplicadas a este artigo, correlacionando as tecnologias utilizadas pelos artigos correlacionados.

4. Protótipo de monitoramento da Planta com IoT

Para o projeto, foram considerados os ativos que a solução pretende integrar, tais como instrumentos, ferramentas e métricas utilizados para o monitoramento. Assim, foi construído um protótipo que pudesse ser utilizado de forma aberta e compartilhada por todos que desejassem fazer parte da rede do SmartPlant, como parte inicial do projeto de criação de uma rede de Internet social das plantas.

4.1. Materiais e métodos

Os dispositivos e demais materiais utilizados para o protótipo estão demonstrados na Figura 2 e descritos na Tabela 2.

O microcontrolador *ESP32-WROOM*, os modelos dos sensores e as plataformas IoT, foram escolhidos em conformidade com requisitos de funcionalidade, baixo custo, facilidade de uso e adaptação ao ambiente de desenvolvimento do Arduino, dado a agilidade que tal ambiente promove através da vasta gama de exemplos de aplicações disponíveis, e a experiência de um dos autores em relação a projetos e desenvolvimento de sistemas IoT.

O microcontrolador, pode ser programado utilizando diversas linguagens de programação e ambientes de desenvolvimento integrado (*IDE*). O ESP32 não possui ne-

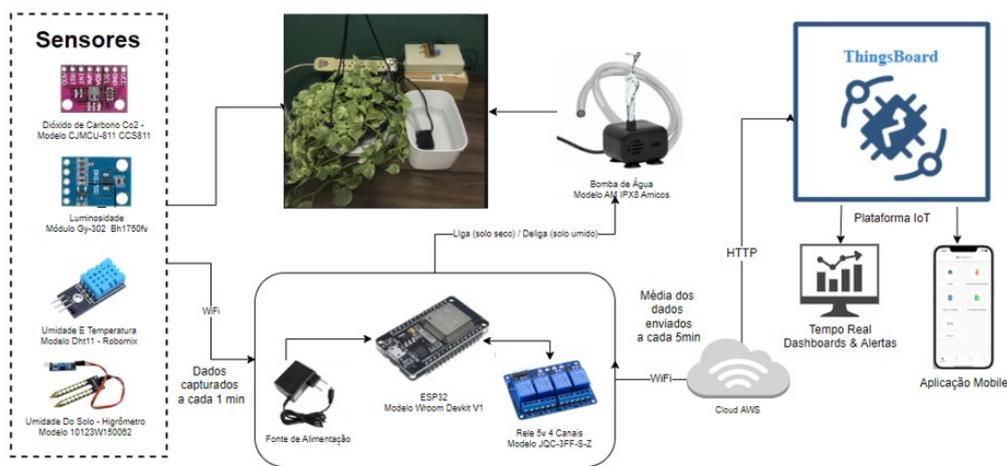


Figura 2. Diagrama contendo os principais elementos do protótipo SmartPlant.

Componente	Descrição
Placa de desenvolvimento:	ESP32 Wroom Devkit V1 - plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, suporta atualização remota de <i>firmware</i> e conversor analógico digital (ADC).
Sensor de luminosidade:	modelo Bh1750fv - possui interface digital I2C, alimentação 5V com regulador de tensão on-board de 3,3V, precisão de intensidade da luz até 1 LUX, rejeição ao ruído de iluminação 50/60Hz e baixa influência do espectro infravermelho.
Sensor de CO2:	modelo CCS811 de 8 bits - comunicação I2C e tensão 3,3 V.
Sensor de umidade do solo higrômetro:	modelo I0123W150062 - possui sonda de umidade, módulo comparador, Chicote de interligação entre sonda e módulo, sensibilidade - ajuste via potenciômetro, saída digital e analógica.
Sensor de temperatura e umidade do ambiente:	modelo DHT11 - conta com faixa de medição de umidade entre 20% e 90%, faixa de medição de temperatura entre 0 e 50°C, saída digital, precisão de medição de umidade de +/- 5% RH, precisão de medição de temperatura de +/- 2°C e período de detecção de 2 segundos.
Bomba submersa:	modelo AM-MINI - possui isolamento a prova d'água (IPX8), suporta temperatura máxima da água de até 35°C, consumo 1,2W na bivolt, alimentação de 127V e coluna d'água máxima (Hmáx) de 0,55mca.
Relê:	modelo JQC-3FF-S-Z - possui tensão de operação de 5VDC, permite controlar cargas de 110 à 220V AC, corrente típica de operação: 15 20mA, LED indicador de status, pinagem: Normal Aberto, Normal Fechado e Comum.
Plataforma IoT:	ThingsBoard versão <i>open source</i> com banco de dados padrão (Postgree), instalada em um servidor Cloud AWS.
Reservatório de água:	capacidade de 2 litros
Planta:	<i>Peperomia obtusifolia</i> , popularmente conhecida apenas como Peperômia. Esta planta foi utilizada no experimento, dado sua necessidade de irrigação diária.

Tabela 2. Materiais utilizado na montagem do protótipo

nhuma *IDE* específica para programação. Entretanto, o lado positivo, é a possibilidade de utilizar diversos tipos de ambientes de desenvolvimento.

Neste projeto optou-se pela utilização da *IDE* Arduino, devido ser um *software* livre (*open source*), de fácil utilização que contém inúmeros recursos como funções e bibliotecas em linguagem C++. Também foi utilizado a linguagem Python na *IDE* Jupyter para criar seis simuladores do dispositivo real.

Em termos de Plataforma IoT foram experimentadas duas soluções, a ThingsBoard que inclui uma série de *dashboards* e ferramentas auxiliares embarcadas na solução, que possibilitam um monitoramento remoto, sem muito trabalho de configuração, permitindo tanto a integração quanto o gerenciamento de dispositivos através de uma mesma infraestrutura *web*. Outra plataforma utilizada, foi a Interscity que também é *open*

source [Batista et al. 2016], que possibilitava maiores possibilidades de alteração de código fonte, por ser um projeto que a nossa instituição faz parte de seu desenvolvimento, por meio de um projeto de pesquisa financiado pela FAPESP, em conjunto com outras instituições do Brasil. Desta forma, a integração do algoritmos de IA a serem utilizados, poderiam ter uma integração mais harmoniosa com a plataforma.

A ThingsBoard fornece interfaces de usuário e integrações por meio de protocolos como *HTTP*, *MQTT* e *CoAP*, além de diversos recursos que viabilizam a implementação do projeto de automação. A plataforma do ThingsBoard possui *APIs* que fornecem a comunicação com os dispositivos, utilizando protocolos da camada de aplicação. Foi utilizada a rede *Wifi* e o protocolo de comunicação *HTTP* para realizar a conexão entre os dispositivos e ambas plataformas e IoT.

A lógica e funcionamento da solução foi construída utilizando a linguagem C++ no *IDE* Arduino, envolvendo a lógica de captura dos dados (temperatura, umidade do ambiente, CO_2 , Luminosidade e umidade do solo), o processamento dos dados capturados, a ativação e desativação da bomba, assim como o envio da média dos valores para as plataformas IoT ThingsBoard e Interscity.

A fim de pré validar as características de vários usuários conectados a plataforma, foram construídos seis simuladores em linguagem Python, os quais geraram aleatoriamente os valores relacionados a cada sensor. Todos os dados simulados foram enviados para a plataforma ThingsBoard, para a observação do comportamento dos alertas e fatores críticos da solução, além de criar uma massa de dados a ser utilizada para análise e criação de um modelo de IA para determinar os melhores parâmetros para cada tipo de cultivo, fomentando a Internet Social das Coisas.

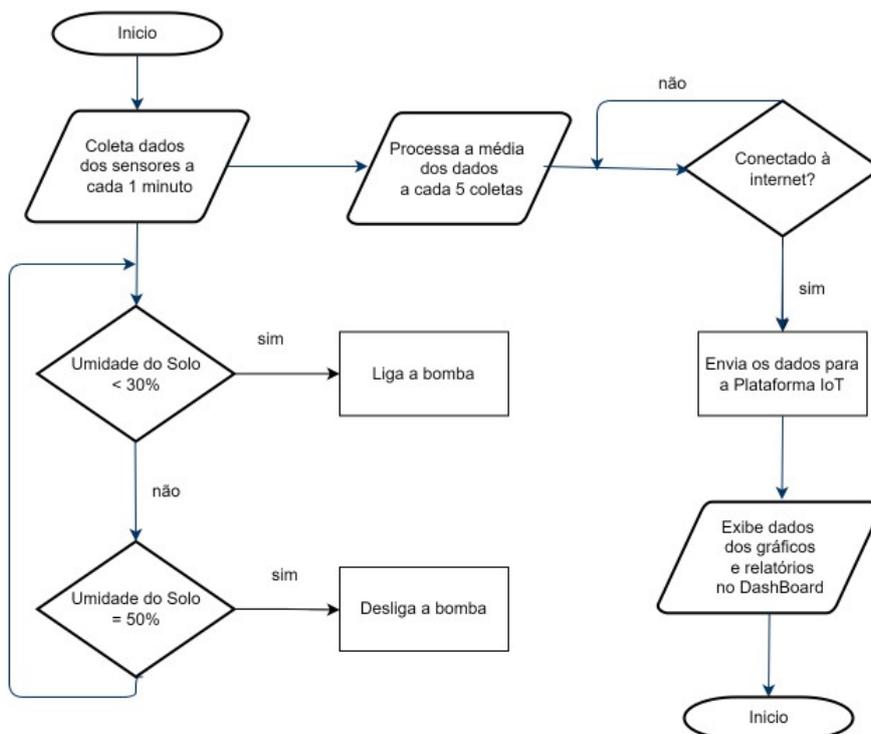


Figura 3. Fluxograma do funcionamento da solução

A Figura 3 demonstra o fluxograma da solução, onde é realizada a coleta dos dados dos sensores a cada 1 minuto e verifica se a umidade do solo está abaixo de 30% para ligar a bomba e se atingiu 50%, onde a bomba é desligada, pois este é cenário onde o solo está suficientemente úmido.

A cada cinco coletas dos dados é realizado o cálculo das médias dos valores previamente coletados. É verificado se existe conexão com a internet, caso positivo os valores calculados serão enviados às plataformas IoT. A visualização dos dados em gráficos e relatórios foi desenvolvida e exibida na ferramenta *Dashboard* da plataforma ThingsBoard, conforme exibido na sessão de resultados.

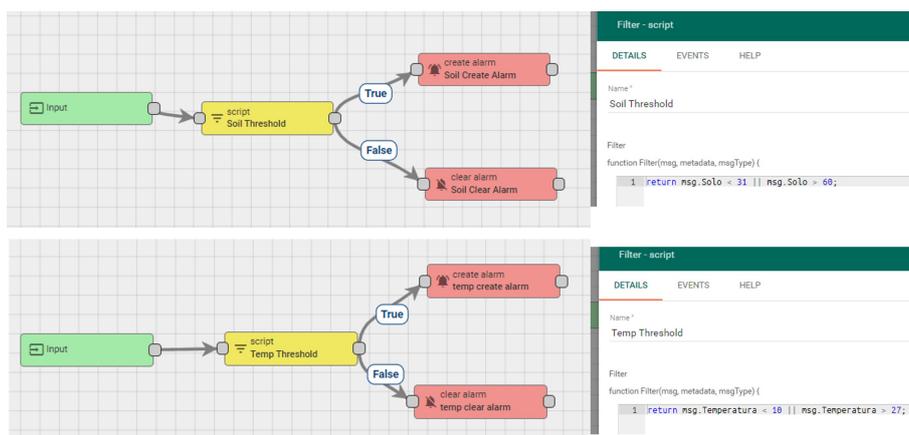


Figura 4. Definição dos alertas de Solo e Temperatura

A solução permite a criação de alertas, como visto na plataforma ThingsBoard (Figura 4). Os alertas são acionados sempre que ocorrem situações, tais como, mal funcionamento dos sensores e da bomba ou alterações bruscas no ambiente. Quando a umidade do solo apresentar valores iguais ou abaixo de 30% (solo seco) ou ainda, valores acima de 60% (solo encharcado) o alerta será acionado, o mesmo ocorrerá quando a temperatura estiver abaixo de 10 ou acima de 27 graus Celsius.



Figura 5. Protótipo SmartPlant.

O protótipo exibido na Figura 5 ficou em funcionamento durante 26 dias consecutivos, no período de 24 de julho a 20 de agosto de 2022. A coleta dos dados pelos sensores

teve a periodicidade diária, com o intervalo de medição a cada 1 minuto e o cálculo das médias dos valores coletados a cada 5 minutos. O local utilizado para o experimento foi uma sala de apartamento com ventilação ambiente e iluminação natural.

4.2. Resultados

Na plataforma ThingsBoard foi gerado o gráfico de comparação dos dados de umidade do solo e Temperatura ambiente (Figura 6), o gráfico com os dados de Luminosidade e CO^2 (Figura 7), o relatório de alertas e o relatório da série histórica. Os dados demonstrados representam o período de 24 de julho a 20 de agosto de 2022.

4.3. Discussão dos resultados do experimento

O experimento iniciou no dia 24 de julho de 2022 e encerrou dia 20 de agosto de 2022. Durante todo o período, foram observados os dados da planta que estavam sendo monitorados com base na literatura e na observação empírica do experimento. Foi utilizada a plataforma ThingsBoard, que atendeu perfeitamente ao propósito do projeto, pois além de fácil manuseio, disponibiliza todas as ferramentas necessárias para a nossa solução. Abaixo, seguem as análises efetuadas com base nos gráficos e relatórios gerados durante o período observado.

- Umidade do solo X Temperatura e umidade do ambiente
A Peperômia foi a planta utilizada no experimento, de acordo com a literatura, é um espécie que necessita de temperatura ambiente amena, em torno de 17 a 25 graus Celsius, com solo umedecido diariamente. No início do experimento, o nível de umidade do solo estava muito elevado. A calibração foi corrigida ao longo dos dias (Figura 6), configurando os parâmetros em três classes: solo seco (umidade menor ou igual à 30%); solo úmido (umidade igual à 50%) e solo encharcado (umidade maior que 60%). Após esse período, pode-se observar no gráfico que os níveis de umidade permaneceram estáveis. O protótipo do experimento ficou em um local de temperatura ambiente de aproximadamente 20 graus Celsius, o que proporcionou para planta uma temperatura adequada para seu bom desenvolvimento. É possível observar, que o local utilizado passou por variações de temperatura em torno de 2 a 3 graus Celsius, mantendo uma estabilidade, o que também contribuiu positivamente para o desenvolvimento da planta.
- Luminosidade e CO^2
A Peperômia é uma planta que necessita de baixa luminosidade para se desenvolver, por esta razão, foi escolhido um local que satisfizesse esse requisito. Analisando a Figura 7, pode-se observar variações de níveis de CO^2 com relação à luminosidade, tais variações são esperadas, pois a planta ficou em ambiente fechado e a maior parte do tempo ela ficou em baixa luminosidade, com poucas alterações.
- Alarmes
Na plataforma Thingsboard foram definidos parâmetros de alarmes críticos, tanto para umidade do solo, quanto para temperatura. Se a umidade do solo ultrapassasse os extremos de 30% ou 60%, o alarme acionaria. Da mesma forma, se a temperatura do ambiente caísse para menos de 10 graus ou aumentasse para mais de 27 graus, haveria outro alarme. Durante o experimento foi observado alarmes de umidade do solo no dia 20 de agosto de 2022, acima de 40% (solo ainda úmido)

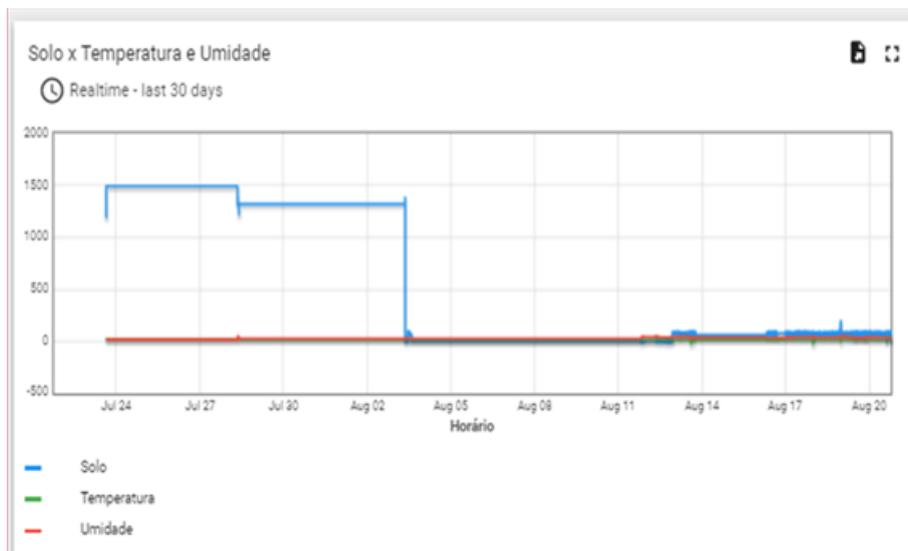


Figura 6. Umidade do Solo x Temperatura e umidade do ambiente



Figura 7. Luminosidade x CO2

e acima de 60% (solo encharcado). A utilização dos alarmes, serviu de auxílio para o ajuste dos parâmetros adequados para manutenção em níveis ótimos.

- **Série Histórica**
Os dados coletados denotam poucas variações em termos percentuais, demonstrando que durante o período do experimento foi atingida uma estabilidade em todos os parâmetros, como resultado de um monitoramento frequente e ajustes nos sensores e bomba de água. A única discrepância que vale a pena comentar, foi com relação aos dados referente à luminosidade coletados durante o período de 17 a 18 de agosto de 2022, nestes dias os dados aparecem zerados, tal fato foi ocasionado devido o sensor de luminosidade ter virado pra baixo e por isso, não conseguia captar a luminosidade do ambiente. Corrigida a questão do sensor de luminosidade, o sistema voltou a coletar todos os dados de forma adequada.
- **Custo e Manutenção da solução**

A expectativa era que a solução pudesse ser de baixo custo, para possibilitar a adesão de forma abrangente. Porém, algumas peças são importadas e sofrem com o câmbio do dólar e existe o custo da hospedagem da plataforma ThingsBoard na nuvem. Desta forma, a implementação do protótipo ficou aproximadamente em R\$ 300,00 (Trezentos Reais).

5. Conclusões

A implementação do dispositivo de IoT para monitorar os fatores que afetam o crescimento das plantas, com a captura de vários sensores, tais como temperatura, umidade do solo e CO_2 , são usados para criar uma base de parâmetros ambientais e físicos do sistema, durante o desenvolvimento da planta. Alguns desafios foram identificados durante o experimento, tais como, a falta de identificação dos parâmetros ideais ou uma base de conhecimento, a aquisição e custo dos componentes, o que motivou mais a ideia de criarmos um SIoT para que esta base de conhecimento fosse construída de forma colaborativa.

Como lições aprendidas para a elaboração deste protótipo, observa-se o aprendizado das configurações necessários para a implantação inicial de todo o sistema de IoT, desde a definição de parâmetros para cada sensor até a utilização e configuração da Plataforma ThingsBoard. Com a finalização do experimento, conclui-se que o sistema IoT foi capaz de monitorar e apoiar o desenvolvimento de plantas seja por uma gestão de irrigação ou sugestões nas adequações nas condições de iluminação que podem estar fora do padrão satisfatório, tendo como parâmetros os estados atuais de umidade, iluminação, temperatura e emissões, principalmente considerando a supervisão do proprietário, o qual valida o bom ou mal desenvolvimento saudável da planta.

Atualmente, a solução não registra fotos das plantas, e é o próprio usuário que declara a condição da planta, no futuro, as fotos poderiam passar por algoritmos de rede neural convolucional para identificar o tipo de planta e características que indicam se a planta está saudável e doenças relacionadas, como demonstrado em [S. Punla et al. 2022].

Este trabalho identificou a viabilidade da criação de uma SIoT, que através da troca de informações entre os usuários, fomenta uma base de dados colaborativa, da qual é possível aplicar algoritmos de IA como redes neurais, para identificação e catalogação de parâmetros que auxiliem tanto os usuários no cultivo das plantas, quanto calibração do dispositivo IoT. Este é um projeto aberto e poderá ser desenvolvida colaborativamente com diferentes algoritmos propostos por outros pesquisadores no futuro.

Agradecimentos

Trabalho inserido no âmbito do processo FAPESP nº 2017/50343-2, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, intitulado Plano de Desenvolvimento Institucional na área de Transformação Digital: Manufatura Avançada e Cidades Inteligentes e Sustentáveis (PDIP). Este também tem colaboração com o INCT da Internet do Futuro para Cidades Inteligentes financiado pelo CNPq proc. 465446/2014-0, CAPES Código de Financiamento 001, FAPESP nº 14/50937-1, e FAPESP nº 15/24485-9.

Referências

Atzori, L., Iera, A., Morabito, G., and Nitti, M. (2012). The social internet of things (siot) – when social networks meet the internet of things: Concept, architecture and network characterization. *Computer Networks*, 56(16):3594–3608.

- Batista, D. M., Goldman, A., Jr., R. H., Kon, F., Costa, F. M., and Endler, M. (2016). InterSCity: Addressing future internet research challenges for smart cities. In *Online Proceedings*. IEEE.
- Belista, F. C. L., Go, M. P. C., Lucenara, L. L., Policarpio, C. J. G., Tan, X. J. M., and Baldovino, R. G. (2018). A smart aeroponic tailored for IoT vertical agriculture using network connected modular environmental chambers. In *2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)*. IEEE.
- Butt, M. F. U., Yaqub, R., Hammad, M., Ahsen, M., Ansir, M., and Zamir, N. (2019). Implementation of aquaponics within IoT framework. In *2019 SoutheastCon*. IEEE.
- Gill, H. K., Sehgal, V. K., and Verma, A. K. (2021). A context aware recommender system for predicting crop factors using LSTM. In *2021 Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON)*. IEEE.
- Jie Ong, Z., Keong Ng, A., and Ya Kyaw, T. (2019). Intelligent outdoor aquaponics with automated grow lights and internet of things. In *2019 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*. IEEE.
- Kodali, R. K. and Valdas, A. (2018). MQTT based monitoring system for urban farmers using ESP32 and raspberry pi. In *2018 Second International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*. IEEE.
- Leal, A. G., Santos, A. S. d., Noda, M. K., and Rociques, L. C. d. S. (2013). Internet social das coisas como agente agregador nas cidades inteligentes no brasil e no mundo. In *III Congresso Internacional do Conhecimento e inovação*. UFSC.
- Mohd Ariffin, M. A., Ramli, M. I., Zainol, Z., Mohd Amin, M. N., Ismail, M., Adnan, R., Ahmad, N. D., Husain, N., and Jamil, N. (2021). Enhanced IoT-based climate control for oyster mushroom cultivation using fuzzy logic approach and NodeMCU microcontroller. *Pertanika J. Sci. Technol.*, 29(4).
- Muladi, M., Bhimantoro, S., Aripriharta, A., Hadi, M. S., Mahamad, A. K. B., and Saon, S. B. (2021). IoT-based micro-hydroponic urban farming for economic healing during COVID19 pandemic. In *2021 7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*. IEEE.
- Namgyel, T., Siyang, S., Khunarak, C., Pobkrut, T., Norbu, J., Chaiyasit, T., and Kerdcharoen, T. (2018). IoT based hydroponic system with supplementary LED light for smart home farming of lettuce. In *2018 15th Int.Conf.on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*. IEEE.
- Podder, A. K., Bukhari, A. A., Islam, S., Mia, S., Mohammed, M. A., Kumar, N. M., Cengiz, K., and Abdulkareem, K. H. (2021). Iot based smart agrotech system for verification of urban farming parameters. *Microprocess. Microsyst.*, 82(104025):104025.
- Rangarajan, A. K., Purushothaman, R., and Venkatesan, H. S. (2018). Evaluation of solanum melongena crop performance in artificial LED light source for urban farming. In *2018 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC)I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), 2018 2nd International Conference on*. IEEE.

- S. Punla, C., <https://orcid.org/0000-0002-1094-0018>, cspunla@bpsu.edu.ph, C. Farro, R., <https://orcid.org/0000-0002-3571-2716>, rcfarro@bpsu.edu.ph, and Bataan Peninsula State University Dinalupihan, Bataan, Philippines (2022). Are we there yet?: An analysis of the competencies of BEED graduates of BPSU-DC. *International Multidisciplinary Research Journal*, 4(3):50–59.
- Saad, M. H. M., Hamdan, N. M., and Sarker, M. R. (2021). State of the art of urban smart vertical farming automation system: Advanced topologies, issues and recommendations. *Electronics (Basel)*, 10(12):1422.
- Stevens, J. D. and Shaikh, T. (2018). MicroCEA: Developing a personal urban smart farming device. In *2018 2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*. IEEE.
- Sunehra, D. and Srinidhi, M. (2020). Implementation of smart urban farming using raspberry pi, arduino and node-RED platform. In *2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON)*. IEEE.
- Tan, E.-K., Chong, Y.-W., Niswar, M., Ooi, B.-Y., and Basuki, A. (2020). An IoT platform for urban farming. In *2020 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*. IEEE.
- Tolentino, L. K. S., Fernandez, E. O., Jorda, R. L., Amora, S. N. D., Bartolata, D. K. T., Sarucam, J. R. V., Sobrepena, J. C. L., and Sombol, K. Y. P. (2019). Development of an IoT-based aquaponics monitoring and correction system with temperature-controlled greenhouse. In *2019 International SoC Design Conference (ISOCC)*. IEEE.