

Desenvolvimento de dispositivo para monitoramento remoto de ambientes controlados

RESUMO

O conceito de Cidades Inteligentes está intimamente ligado ao uso de Tecnologias de Informação e Comunicação para a prestação de serviços à sociedade. Esta pesquisa visou aprimorar o monitoramento de estufas de cultivo de microrganismos em uma Instituição de Ensino Superior pública, por meio de um sistema de telemetria baseado em Internet das Coisas. Microcontroladores integrados a sensores de baixo custo disponíveis no mercado coletaram valores de corrente elétrica, temperatura, umidade e luminosidade em tempo real, transmitindo-os a uma interface gráfica amigável. O protótipo permitiu identificar a necessidade de corrigir parâmetros necessários para o cultivo adequado dos microrganismos, contribuindo para o desenvolvimento correto de ensaios de ecotoxicidade. A utilização do sistema pode ajudar a manter condições ideais para pesquisas na área ambiental conduzidas na IES, que assim pode elevar a qualidade dos serviços que presta à sociedade.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento remoto. Internet das Coisas. Ensaios ambientais. Instituições de Ensino Superior públicas.

Lucas Barreto de Jesus
Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP), Limeira, São Paulo,
Brasil
l220647@dac.unicamp.br

Lucas Tadeu de Carvalho Moreira
Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP), Limeira, São Paulo,
Brasil
l220951@dac.unicamp.br

Marco Aurélio Soares de Castro
Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP), Limeira, São Paulo,
Brasil
marcocastro@ft.unicamp.br

INTRODUÇÃO

Estudos na área de qualidade, incluindo a aplicação de métricas para avaliação de desempenho, já datam de décadas, como atesta o trabalho de nomes como William Edwards Deming desde a década de 1950 (SILVA et al., 2016). Porém, a adoção e disseminação do conceito de Cidades Inteligentes tem estimulado a demanda pela implantação de monitoramento e de processos de melhoria em diversas vertentes da sociedade.

A falta de consenso em torno de uma única definição para o termo Cidade Inteligente – já foram identificadas mais de 50 – parece derivar do fato de que o conceito é examinado por diferentes domínios do conhecimento (MEIJER e BOLÍVAR, 2016). Porém, o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) é um ponto em comum a todas as definições, e é crescente o protagonismo do debate sobre o tema, em especial a articulação entre TICs, sustentabilidade e qualidade de vida (Silva et al., 2025).

Argumenta-se que os processos de intensificação da urbanização e da própria transformação das cidades podem ser analisados e compreendidos pela abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), que investiga as interações entre avanços científico-tecnológicos e os correspondentes impactos sociais, políticos e ambientais (Silva et al., 2025). De fato, a cidade vem sendo considerada como um ecossistema de prestação de serviços para sua população, que espera melhorias nos serviços prestados; nesse sentido, a tecnologia é vista como um dos meios para se alcançar a eficiência e não como o “ponto chave” (ALBINO et al., 2015), sendo um fim em si mesma.

Soluções tecnológicas adotadas para planejamento e governança pública em nível local devem estar necessariamente alinhadas à realidade local para aperfeiçoar aspectos ligados a economia, meio ambiente, gestão, mobilidade urbana, educação, saneamento, entre outros (Weiss et al., 2019; Lui e Petarnella, 2020; Silva et al., 2025);

No que diz respeito a questões ambientais, aspectos como sistemas de conservação de energia (Kim et al., 2021), gestão da qualidade do ar (Kaginalkar et al., 2021), gestão de resíduos sólidos (Fang et al., 2023), sistemas de vigilância (Kashef et al., 2021), sistemas de monitoramento da qualidade de água (Jan et al., 2021) e serviços médicos e hospitalares (Abdulmalek et al., 2022) têm sido propostos, desenvolvidos e aplicados com a adoção de ferramentas de Internet das Coisas (ou IoT, de Internet of Things), computação em nuvem, Inteligência Artificial (IA), entre outras.

Em que pesem as possibilidades advindas do monitoramento em tempo real por sistemas remotos autônomos, como a capacidade de subsidiar tomadas de decisão mais rápidas em caso de eventuais perturbações do processo em questão (Lafratta et al., 2021), tais avanços devem ser compreendidos e absorvidos pelas suas efetivas contribuições à melhoria na prestação destes e de outros serviços, e na qualidade de vida da população como um todo.

Nesse sentido, Matos e Zuin (2021) apontam que as Instituições de Ensino Superior (IES) públicas, sendo as maiores produtoras da pesquisa científica no país, devem alinhar suas agendas aos contextos e demandas do país; a geração de soluções que de fato dialoguem com a realidade socioeconômica brasileira será possível quando a comunidade de pesquisa perceber seu papel na construção de

uma proposta de transformação social (Matos e Zuin, 2021). Da mesma forma, Lozano e Flamini (2023) apontam o caráter sociopolítico e educacional das IES públicas, que constituem ‘espaços fecundos para explorar, moldar e projetar o futuro’, e têm atuação significativa para a solução de problemáticas socioambientais.

Internet das Coisas (IoT)

O conceito de IoT propõe que itens físicos como objetos, eletrodomésticos, pequenas máquinas ou aparelhos estejam conectados entre si e troquem informações pela Internet (SURESH et al., 2014), preferencialmente através de uma rede sem fio como Wi-Fi, rede de telefonia celular ou Bluetooth, trazendo uma capacidade computacional a esses itens do cotidiano.

As tecnologias baseadas no conceito de IoT vêm sendo bastante difundidas nos últimos anos devido à demanda crescente por conexão entre diversos dispositivos, equipamentos e ferramentas à Internet a fim de monitorar ou automatizar processos ou tarefas. Tal demanda pode ser percebida em indústrias, transporte, áreas de serviços gerais, hospitais ou residências, e impacta diretamente a gestão e comportamento dentro desses ambientes. Também se beneficia do esforço de uma comunidade colaborativa que inclui desde pesquisadores e pessoas que estudam o tema como um hobby, e que se formou para desenvolver e compartilhar conhecimentos sobre novas tecnologias, gerando diversas iniciativas de softwares e hardwares código aberto (*Open Source*), passíveis de alteração pelo próprio usuário (SINGH; KAPOOR, 2017).

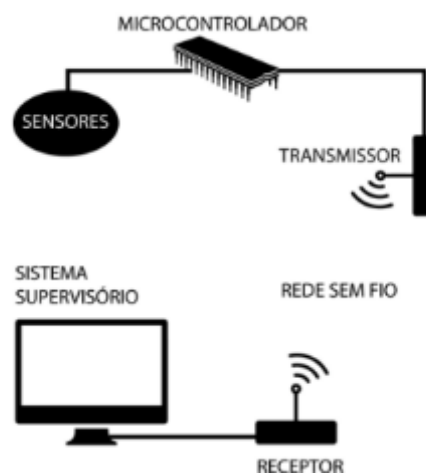
Para estabelecer a conexão entre diversos objetos exigida pelo conceito de IoT, as tecnologias devem cumprir requisitos importantes como confiabilidade na comunicação remota e na transferência de dados via rede sem fios, baixo custo agregado, pequeno tamanho físico, eficiência energética e uma considerável capacidade de processamento (MAIER et al., 2017). No mercado atual há uma enorme variedade de placas e equipamentos orientados para IoT que são desenvolvidos pelas mais diversas empresas, sejam elas *Open Source* ou não, dentre elas Arduino, Raspberry, Cypress, Xbee, WhizFi e Espresif, entre outras.

Telemetria

Telemetria, do grego *teles* (longe) e *metron* (medida), é uma técnica de obtenção de dados via medição remota, em tempo real ou não, de diversos tipos de grandezas através de tecnologias de medição somadas à conexão a uma rede de comunicação (PIOVESAN, 2008). É utilizada há tempos para monitorar diversas grandezas, ambientes, máquinas e status, porém ganhou especial importância e experimentou avanços com o advento da IoT; a utilização de sistemas remotos surgiu da necessidade de se realizar medições de maneira facilitada em locais pouco acessíveis ao homem (GOMES, 2016).

A Figura 1 apresenta um esquema básico de sistema de telemetria IoT, onde um microcontrolador é responsável pela aquisição de dados, enviando-os para um sistema supervisor, que pode ser também um servidor *Web*, através de um protocolo de comunicação sem fio.

Figura 1 - Esquema de funcionamento básico de um sistema de telemetria



Fonte: Gomes (2016)

Na borda de todo sistema de monitoramento estão os sensores, dispositivos que convertem grandezas físicas em grandezas elétricas, que posteriormente serão transformadas em bits. Conectados a um dispositivo capaz de concentrar os sinais coletados, os sensores coletam informações que serão então tratadas e armazenadas em uma base de dados (SHEN; LIU, 2011). A comunicação com a base de dados pode ser em tempo real ou prever o agrupamento de dados coletados por um tempo pré-definido, após o qual um único pacote de dados é gravado na base. Uma vez que esses dados estejam gravados e disponíveis, é possível gerar um painel de visualização (dashboard) apresentando os números consolidados, gráficos, relatórios históricos e outras ferramentas que facilitam a análise de dados e a geração de insights para os processos de otimização em geral

Sistemas embarcados

Sistemas embarcados são projetados para executar uma determinada tarefa e interagir com o ambiente de maneira contínua através de sensores e atuadores (CHASE, 2007). O termo “embarcado” vem do fato de que em geral esses sistemas estão integrados dentro de outro sistema ou aplicação e não possuem uma fonte de energia fixa dedicada, porém têm uma unidade de processamento própria. Um sistema embarcado deve apresentar tamanho e peso reduzidos, baixo consumo de energia, boa capacidade de processamento e comunicação, além de robustez frente às condições ambientais (CUNHA, 2007).

Sistemas embarcados conectados à Internet hoje são peças-chave em grandes indústrias, tendo também aplicações em uso residencial, mobilidade urbana, ensino e agricultura; existem atualmente inúmeras aplicações para soluções em IoT (DATTA; SHARMAN, 2017). Empresas do setor tendem a criar protocolos de comunicação próprios (‘fechados’), reconhecíveis apenas pelos dispositivos desenvolvidos por ela própria. Por outro lado, no mercado de microcontroladores e sistemas embarcados há várias plataformas com sistemas de integração de protocolo ‘aberto’ (*Open Source*) como o Arduino e Raspberry Pi, que constituem alternativas aos protocolos exclusivos de determinados fornecedores (SOURCEFORGE, 2022).

A literatura disponível sobre sistemas de telemetria para monitoramento de ambientes controlados inclui trabalhos desde o início dos anos 2000, sendo que nos últimos 10 anos houve uma crescente divulgação de projetos baseados em IoT, com diversos tipos de tecnologias de comunicação, formas de coleta de dados e aplicações.

Litjens (2009) visou modernizar estufas agrícolas através de sensores ligados por um módulo sem-fio que opera pelo protocolo de rede ZigBee. O sistema permitiu realocar sensores livremente por toda a extensão da estufa, provando a robustez da área de cobertura sem fio criada pelo módulo, e a detecção de alterações nas grandezas e objetos remotamente monitorados foi bem sucedida. Barbosa e Martins (2014) propuseram um sistema para monitoramento de uma casa-de-vegetação. Um circuito coletou dados de um termohigrômetro, enviando-os para outro circuito receptor via rádio frequência. Um software instalado em um computador que estivesse dentro do raio de cobertura permitia visualizar diretamente os dados.

Um sistema de telemetria desenvolvido para aplicação na indústria de manufatura de couro contava com um processador compatível com sistema operacional Linux e capaz de se conectar à Internet via rede Wi-Fi ou ZigBee; foi capaz de coletar dados, publicando-os em um banco de dados em nuvem e tratá-los através de uma interface (Melo e Vieira, 2016). Zanuzzo (2017) propôs monitorar a vazão de água em ambientes residenciais através de um aplicativo móvel desenvolvido para o sistema operacional Android. Um mini-computador Raspberry Pi conectado a um sensor de medição de vazão armazenava os dados e os enviava a um aplicativo móvel através do protocolo Bluetooth.

Por meio de um dispositivo baseado em IoT de Lafratta et al. (2021) monitoraram remotamente um processo de compostagem. Dotado de sensores e atuadores conectados a um controlador ESP8266, o dispositivo monitorou em tempo real a umidade e temperatura durante um ciclo funcionamento de uma composteira, apresentando os valores através da plataforma ThingSpeak.

Cabral (2023) criou uma arquitetura de sistema para monitoramento remoto da temperatura e umidade do ar que independia de uma rede local para se conectar à Internet. Redes de telefonia celular foram usadas para enviar os dados até um servidor *Web*, e uma placa Arduino UNO controlava o sistema e compilava os dados. Usuários poderiam receber alertas via SMS quando os valores de alguma das grandezas monitoradas sofriam alteração ou ultrapassavam certos valores.

Já especificamente no ambiente de IES públicas, Pereira (2021) monitorou remotamente o termômetro digital de um laboratório universitário, utilizando uma plataforma *Web* e um aplicativo desenvolvido para Android. Isso permitiu que os pesquisadores do laboratório obtivessem os dados de temperatura em nuvem, sem realizar medições manuais.

Dado este contexto, a pesquisa aqui descrita visou desenvolver um sistema de telemetria IoT capaz de embarcar diversos sensores para aquisição de dados a serem publicados em um ambiente *Web*. O objetivo foi criar um sistema utilizando componentes de baixo custo e baseado em plataformas de acesso aberto, consistindo assim uma solução tecnológica acessível. O ambiente alvo da aplicação foi uma estufa de cultivo de microrganismos, localizada no laboratório de uma IES pública brasileira; o equipamento requer um controle minucioso acerca da

variação de grandezas físicas como potência elétrica, temperatura, luminosidade e umidade.

METODOLOGIA

O dispositivo foi desenvolvido para monitorar dados de corrente elétrica, temperatura, umidade e luminosidade, com possibilidade de expansão para monitorar outras grandezas em tempo real via uma dashboard online. Utilizou a plataforma embarcada do ESP 32 e seu protocolo de comunicação ESP-NOW.

Sistema embarcado desenvolvido pela Espressif Systems, o módulo ESP 32 é um SOC (*System On Chip*) que possui um microcontrolador integrado, dois núcleos de processamento, além de módulos Wi-Fi e *Bluetooth* (Figura 2). Sua memória flash é expansível com auxílio de módulos SD Card. De baixo custo e potência elétrica (BABIUCH *et al.*, 2019), pode ser usado em prototipagem de aplicações de IoT baseadas em nuvem, automações, sensoriamento, comunicação M2M e outros campos. A gravação de códigos em seu núcleo é feita através do ambiente de desenvolvimento da plataforma *Open Source Arduino*, que utiliza a linguagem de programação *Wiring*, muito similar ao *framework C++*.

Figura 2 - Módulo ESP32

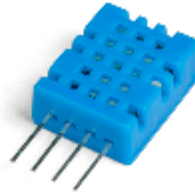


Fonte: Saravati (2023)

O ESP-NOW é um protocolo ponto a ponto (ou *peer-to-peer*) utilizado para realizar comunicações entre placas ESP32 sem a necessidade de um roteador ou de outro protocolo de rede. Por se tratar de uma comunicação ponto a ponto de baixo consumo energético, o ESP-NOW é um protocolo mais eficiente energeticamente do que o Wi-Fi e de fácil implantação (HOANG *et al.*, 2019).

Para medição de temperatura e umidade relativa do ar, foi utilizado um sensor DHT11 (Figura 3).

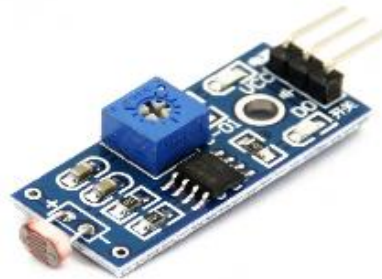
Figura 3 - Sensor DHT11



Fonte: Eletrogate (2023)

Um módulo contendo um pequeno circuito e um sensor semicondutor LDR (Resistor Dependente de Luz) coletou dados de luminosidade (Figura 4). Esse sensor varia sua resistência elétrica entre $10\text{k}\Omega$ e $1\text{M}\Omega$, segundo a incidência de luz no dispositivo. Luminosidade e resistência são inversamente proporcionais, logo, quando há pouca luz, a resistência é alta e vice-versa (SILVA, 2020).

Figura 4 - Módulo LDR



Fonte: Huinfinito (2023)

Por sua vez, o sensor SCT-013 é um Transformador de Corrente, que reduz a corrente de um sistema a um nível adequado para medição por instrumentos apropriados de modo a manter a relação fixa e proporcional entre o valor de corrente de um circuito e as saídas do sensor (PONCHET, 2016). Através do valor de corrente obtido pelo sensor, é possível calcular a potência ativa e consumo energético do circuito elétrico monitorado (Figura 5).

Figura 5 - Sensor SCT-013 em teste



Fonte: Autoria própria

Interface do usuário

A interface de apresentação de dados coletados é parte essencial de qualquer projeto de tecnologia que envolva fornecimento de informações e insights ao homem. Na presente pesquisa, ela se deu por meio das ferramentas gratuitas Google Planilhas e o Google Looker Studio. As funcionalidades do Google Planilhas podem ser integradas a outras aplicações via API, assim ou um ou mais dispositivos ESP32 são capazes de gravar dados coletados por sensores e atuadores diretamente em uma tabela em nuvem de forma simplificada, porém robusta e confiável (IOTDESIGN PRO, 2022).

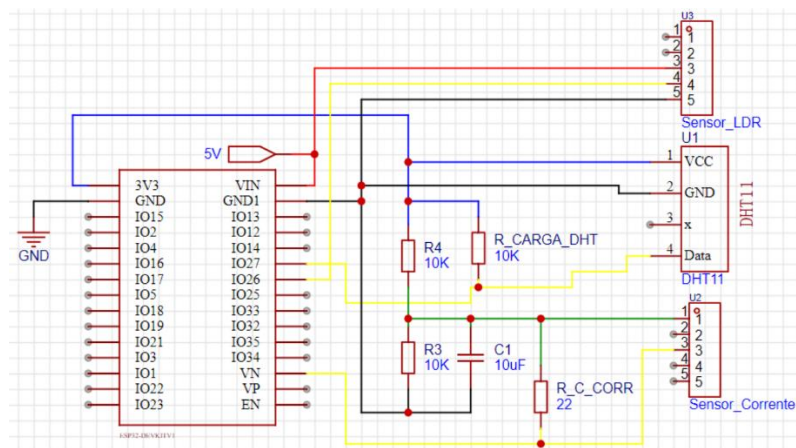
O Looker Studio é um serviço de visualização de dados do pacote de serviços em nuvem do Google que, integrada a ferramentas como o Google Planilhas, permite a criação de *dashboards* gráficas dinâmicas dos dados sendo coletados.

Estrutura do sistema

A estrutura do sistema desenvolvido consiste em duas partes principais. Para a parte responsável pelo sistema de alimentação da placa ESP 32, foi utilizado o módulo TP4056, que regula a corrente e tensão enviada ao módulo e também permite a operação por sistemas de baterias, garantindo utilização mesmo em locais sem uma fonte de alimentação constante.

A segunda parte é responsável pela coleta de informações através dos sensores conectados às portas analógicas do ESP 32. Os sensores DHT11 e SCT-013 foram implementados por circuitos eletrônicos separados e independentes para cada um; por se tratar de um módulo integrado, o sensor de luminosidade já possuía o circuito próprio construído para implementação direta nas portas analógicas do ESP32. A Figura 6 traz o esquema geral de funcionamento da segunda parte do sistema.

Figura 6 – Circuito desenvolvido para o sistema



Fonte: Autoria própria

Para garantir a conexão, utilizou-se o RuralMax, dispositivo inicialmente desenvolvido para áreas rurais, e que possui características idênticas ao de um roteador (Figura 7). Ao ligá-lo usando um chip de qualquer operadora com tecnologia 4G, o dispositivo gera uma rede Wi-Fi própria através do sinal 4G LTE recebido pelo equipamento (NEGER, 2023).

Figura 7 - Rural Max

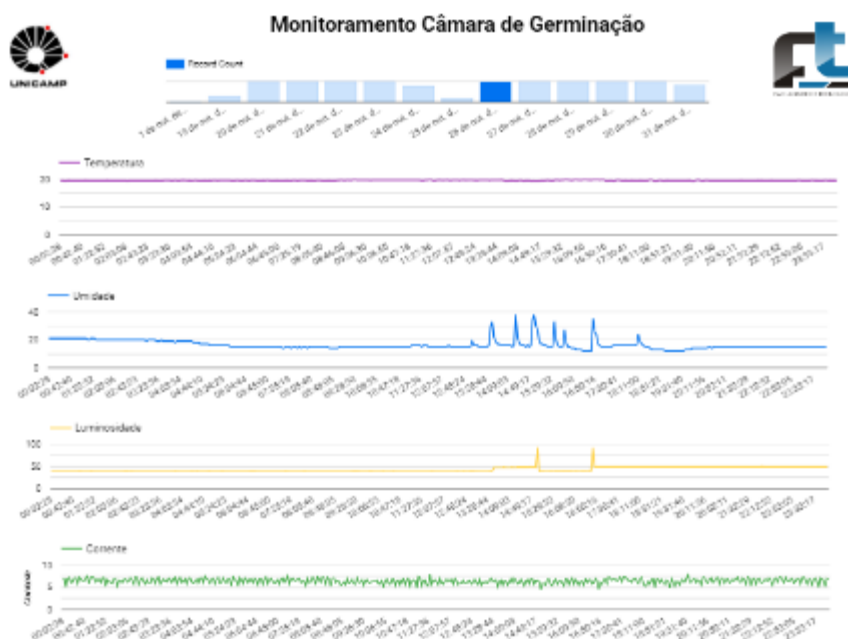


Fonte: NEGER (2023)

O armazenamento dos dados foi feito no Google Planilhas através de uma integração com o ESP32, que foi programado para enviar os dados dos sensores em intervalos regulares de cerca de 3 minutos. Feita a configuração, os dados dos sensores foram automaticamente registrados na planilha, permitindo o monitoramento em tempo real e a análise posterior. A configuração é feita através de *script* em Javascript rodando através do Google Scripts, que vincula a planilha desejada com os parâmetros que se desejam salvar. Em cada linha da planilha, foram salvos os registros de leitura de cada grandeza monitorada, bem como a data e hora dos respectivos registros.

A *dashboard* criada com o Looker Studio apresenta 5 gráficos, sendo o primeiro um contador de registros por datas, que também serve para selecionar a data dos dados a serem visualizados; os demais gráficos apresentam os dados de temperatura, umidade, luminosidade e corrente elétrica, respectivamente. A variação das grandezas é observável no eixo y do gráfico, de acordo com o horário de cada dia apresentado no eixo x. Como novos dados eram registrados a cada 3 minutos, ao final de cada dia era possível plotar um gráfico com cerca de 500 registros de cada grandeza medida (Figura 8).

Figura 8 - *Dashboard* desenvolvida



Fonte: Autoria própria

Para a validação do sistema proposto, foi disponibilizado o acesso às dependências do LEMA - Laboratório de Estudos em Microbiologia Aplicada da Faculdade de Tecnologia (FT/Unicamp). O laboratório utiliza estufas para cultivar microrganismos da espécie *Enchytraeus crypticus*. Típicos da fauna edáfica, devido ao seu curto ciclo reprodutivo são empregados em testes de ecotoxicidade como indicadores de contaminação do solo, inclusive pelos chamados contaminantes emergentes, em geral derivados de substâncias sintetizadas e recentemente desenvolvidas, e que portanto ainda não tiveram seus efeitos sobre o meio ambiente e os seres vivos totalmente compreendido; entre eles, figuram anti-inflamatórios como a nimesulida (Moreira e Pires, 2024) e antibióticos como a ciprofloxacina (Martins e Pires, 2025). Além de uma rotina de alimentação, estabelece-se que os microrganismos devem ser mantidos em ambiente com controle de temperatura (20 ± 2 °C) e fotoperíodo (16 h de luminosidade / 8 horas de escuridão) (ISO, 2023), aproximando-se ao ciclo de luz de um dia. Além disso, é necessário um nível de umidade do ar satisfatório, além de que idealmente não podem ocorrer falhas na alimentação elétrica da estufa.

Para a montagem do dispositivo na estufa, utilizou-se um cabo de 8 vias para permitir que o ESP32 ficasse na parte externa da estufa e os sensores ficassem na

parte interna, com exceção do sensor de corrente que foi posicionado junto aos cabos de alimentação elétrica do local (Figura 9).

Figura 9 - Protótipo instalado na estufa 1



Fonte: Autoria própria

Após um período de testes iniciais, que também confirmaram a estabilidade e confiabilidade na geração dos gráficos da dashboard desenvolvida, o dispositivo foi instalada em uma segunda estufa. utilizando-se a mesma estratégia que permitiu posicionar os sensores no interior e o microcontrolador na parte externa (Figura 10).

Figura 10 - Protótipo instalado na estufa 2



Fonte: Autoria própria

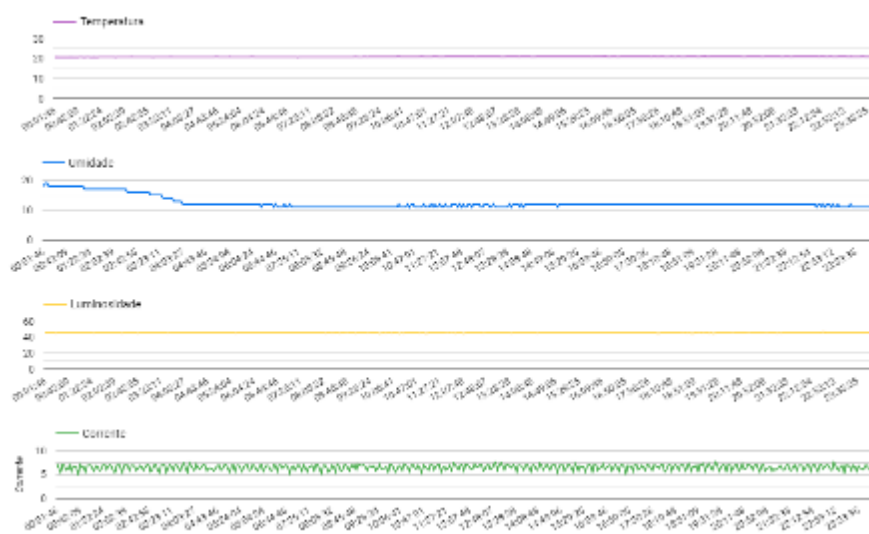
DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

O período de testes iniciais transcorreu por 12 dias, para avaliar tanto o funcionamento da câmara ('estufa 1') quanto o comportamento e integridade em campo do protótipo. Nesse período, o sistema operou sem intercorrências na maior parte do tempo, apenas com exceção de pequenas interrupções devido à desconexão com a internet e algumas reinicializações automáticas não previstas no ESP32, que logo foram normalizadas após intervenção in loco.

Como era esperado, o teste identificou frequentes variações na temperatura, umidade e corrente dentro da estufa 1 durante dias úteis, já que, com a atuação de pesquisadores e estudantes, ocorriam várias aberturas da porta durante o dia. Nos finais de semana, as grandezas monitoradas se mantiveram mais constantes.

Nos primeiros dias verificou-se também um comportamento indesejado do fotoperíodo programado para a estufa; como pode se observar na figura 11, a luminosidade dentro da estufa manteve-se todo o tempo em níveis acima de 50% de iluminância, indicando que havia uma fonte luminosa acesa o tempo todo. Pode-se notar também que o nível de umidade relativa do ar nesta estufa esteve sempre abaixo de 50%.

Figura 11 - *Dashboard* da estufa 1 - inexistência de fotoperíodo

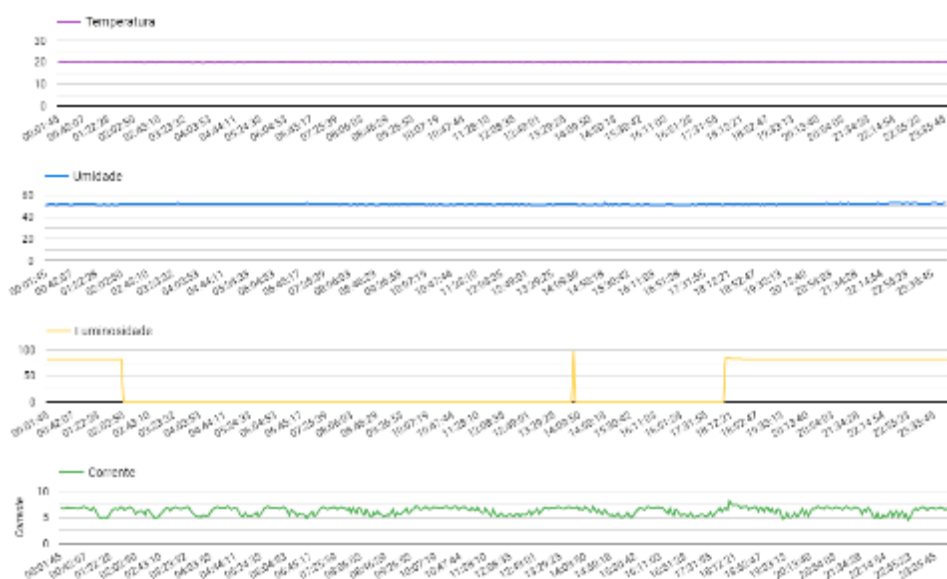


Fonte: Autoria própria

Após o período de testes na primeira câmara, o dispositivo foi instalado na estufa 2 para verificar o seu comportamento e compará-lo com os dados obtidos anteriormente. Nesse segundo equipamento, os dados apresentados na dashboard apontaram que não havia luminosidade em nenhum momento no interior da câmara, permitindo constatar que o sistema de fotoperíodo não estava ativado. Após essa correção, a iluminação passou a operar em ciclos de aproximadamente 16 horas com luz e 8 horas sem luz. Nesta segunda estufa, percebeu-se que a umidade relativa do ar se manteve sempre entre 50% e 55%.

A figura 12 apresenta os dados obtidos após a correção dos ciclos da estufa 2, mostrando que as alternâncias de luminosidade passaram a ocorrer normalmente.

Figura 12 - Dashboard da estufa 2 após correções nos ciclos de luminosidade

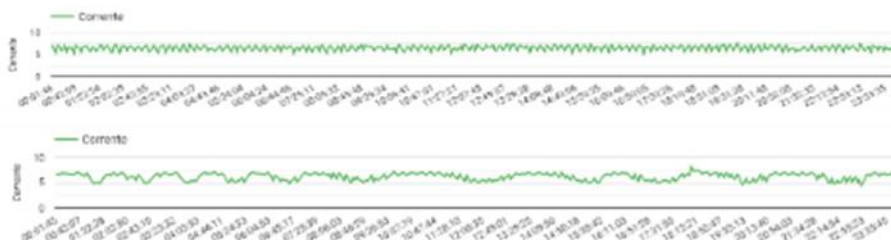


Fonte: Autoria própria

De modo geral, os parâmetros operacionais como um todo exibiram o comportamento desejado. Observou-se que ambas as estufas mantiveram as temperaturas em aproximadamente 20°C durante todo o período monitorado. As exceções significativas foram os momentos em que as portas das estufas eram abertas, o que gerava pequenos aumentos de temperatura, logo normalizados nos minutos seguintes.

A corrente manteve comportamento muito semelhante em ambas as estufas. Os valores médios consumidos foram de 6,56 A na estufa 1 e de 6,52 A na estufa 2. Apesar disso, houve uma pequena variação entre as curvas de consumo: a estufa 1 apresentou comportamento mais constante enquanto que a estufa 2 apresentou alguns ciclos de aumento e diminuição na corrente do circuito (Figura 13).

Figura 13 - Comparação de corrente da estufa 1 (cima) e estufa 2 (baixo)



Fonte: Autoria própria

Da comparação do comportamento dos parâmetros, depreende-se que as variações de corrente, mesmo na estufa 2, não implicaram perturbação significativa na temperatura, umidade ou luminosidade no interior dos

equipamentos. De qualquer forma, pode-se procurar corrigir tais flutuações mediante a utilização de equipamento estabilizador adequado.

Os resultados positivos da aplicação do sistema podem ser compreendidos sob diferentes recortes. As soluções de telecomunicação adotadas pelo sistema funcionaram a contento, resolvendo o problema proposto, de acompanhar e garantir as condições ideais da estufa. A partir do momento em que as intercorrências no funcionamento foram solucionadas, o protótipo funcionou de forma estável e ininterrupta durante todo o período considerado. O constante monitoramento proporcionado por ele permitiu confirmar que os microrganismos estavam se desenvolvendo em condições previstas em norma, e portanto poderiam atuar como indicadores confiáveis nos testes de ecotoxicidade.

Por dispor de vários sensores, o sistema gerou uma leitura mais completa do ambiente da estufa, inclusive com o monitoramento de parâmetros elétricos, algo que ainda não havia sido previamente relatado na bibliografia. No mais, por ser capaz de receber sensores adicionais, o sistema se mostra escalável e facilmente adaptável para outras aplicações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento e aplicação de sistemas de monitoramento remoto baseados em conceitos como IoT podem beneficiar uma série de contextos: ambientes industriais, que requerem o monitoramento de processos e dos status das máquinas; setores da agricultura e pecuária, no acompanhamento do consumo de água e outros insumos; ambientes residenciais, para se obter economia de energia; e, como aqui apresentado, laboratórios e centros de pesquisas que exijam precisão no controle de parâmetros ambientais.

O sistema desenvolvido foi capaz de atender às necessidades de monitoramento das condições de um ambiente controlado - neste caso, as estufas de cultivo de microrganismos utilizados na avaliação de impactos de substâncias, especialmente dos contaminantes emergentes que vêm sendo estudados no laboratório em questão. Os resultados obtidos indicaram a funcionalidade do protótipo, ajudando a equipe do laboratório a rapidamente identificar alterações no funcionamento dos equipamentos.

Aplicações de tecnologias de telecomunicação à área ambiental, como a desenvolvida na pesquisa aqui relatada, revestem-se de importância ao contribuir para a compreensão, sob a ótica científica, de mecanismos de poluição ambiental, que ao ocorrerem em um dado ecossistema, afetam as populações de seres vivos ali residentes, incluindo as sociedades humanas.

Em um nível mais amplo, uma vez que se trata de uma IES pública que conduz pesquisas na área ambiental, intrinsecamente ligada à qualidade de vida da sociedade em geral, soluções tecnológicas como a aqui descrita permitem a geração de conhecimento científico de melhor qualidade, impactando positivamente nos serviços prestados pela instituição à sociedade.

Nesse sentido, além de seu atual potencial de utilização, este sistema pode consistir a base para futuras aplicações que explorem aspectos como nível de uso de baterias, consumo de água, notificações e alarmes, visualização de dados de

interesse via aplicativo móvel, e utilização de rede de telefonia celular, não apenas na IES analisada como na comunidade em geral.

Development of a remote monitoring device for controlled environments

ABSTRACT

The concept of Smart Cities is closely linked to the use of Information and Communication technologies for service provision to society. This research aimed to improve monitoring of microorganism cultivation incubators at a public higher education institution through an Internet of Things-based telemetry system. Microcontrollers integrated to low-cost sensors available on the market collected values of electric current, temperature, humidity, and luminosity in real time, transmitting them to a user-friendly graphical interface. The prototype made it possible to identify the need to correct parameters necessary for the proper cultivation of microorganisms, contributing to the correct development of ecotoxicity tests. The system can help maintain ideal conditions for environmental research conducted at the institution, thus improving the quality of the services it provides to society.

KEYWORDS: Remote Monitoring, Internet of Things. Environmental testing. Public Higher Education Institutions.

REFERÊNCIAS

ABDULMALEK, S.; NASIR, A.; JABBAR, W.A.; ALMUHAYA, M.A.M.; BAIRAGI, A.K.; KHAN, M.A.-M.; KEE, S.-H. IoT-Based Healthcare-Monitoring System towards Improving Quality of Life: A Review. **Healthcare**, 2022, 10, 1993.

<https://doi.org/10.3390/healthcare10101993>.

ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives, **Journal of Urban Technology**, v. 22, n. 1, p.3–21, 2015.

BABIUCH, M.; FOLTYNEK, P.; SMUTNY, P. **Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing**. In: 20th International Carpathian Control Conference (ICCC), Krakow-Wieliczka, Poland, 2019. Disponível em:

<<https://ieeexplore.ieee.org/document/8765944>>. Acesso em: 15/09/2023.

BARBOSA, R. Z.; MARTINS, J. E. M. Desenvolvimento de um sistema de telemetria para monitoramento térmico em casas de vegetação. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 8, p. 25-33, 2014. Disponível em:

<<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/175>>. Acesso em: 25/09/2023.

CABRAL, S. **Um sistema de telemetria com tecnologias GSM/GPRS para a área ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2023. Disponível em:

<<https://repositorio.unesp.br/items/de2e53b2-a86e-4a7f-85d2-a2ef8155a3fb>>. Acesso em: 25/09/2023.

CARRASCO, D. **ESP32: WiFi and ESP-NOW simultaneously**. ElectroSoftCloud, 2019. Disponível em: <<https://www.electrosoftcloud.com/en/esp32-wifi-and-esp-now-simultaneously/>>. Acesso em: 22/09/2023.

CHASE, O. Sistemas embarcados. **Revista Sociedade Brasileira de Automática Jovem**, v. 10, n. 11, 2007. Disponível em:

<<http://www.lyfreitas.com.br/ant/pdf/Embarcados.pdf>>. Acesso em: 11/09/2023.

CUNHA, A. F. O que são sistemas embarcados?. **Revista Saber Eletrônica**, n. 414, 2007. Disponível em:

<https://files.comunidades.net/mutcom/ARTIGO_SIST_EMB.pdf>. Acesso em: 11/09/2023.

DATTA, P.; SHARMAN, B. **A survey on IoT architectures, protocols, security and smart city-based applications**. In: 8th International Conference on Computing,

Communication and Networking Technologies, 2017. Disponível em:
<<https://ieeexplore.ieee.org/document/8203943>>. Acesso em: 28/05/2023.

ELETROGATE. **Sensor de Umidade e Temperatura DHT11**. Disponível em:
<<https://www.eletrogate.com/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht11>>.
Acesso em 16 de novembro de 2023.

FANG, B., YU, J., CHEN, Z.; AHMED I. OSMAN, A. I.; FARGHALI, M.; IHARA, I.;
HAMZA, E. H.; ROONEY, D. W.; YAP, P.S. Artificial intelligence for waste
management in smart cities: a review. **Environmental Chemistry Letters**, 21,
1959–1989. 2023. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01604-3>

GOMES, P. H. O. **Concepção de sistema de telemetria para aeronaves
remotamente controladas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de
Controle e Automação). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.
Disponível em:
<[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/284/1/MONOGRAFIA
ModelamentoSistemaTelemetria.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/284/1/MONOGRAFIA_ModelamentoSistemaTelemetria.pdf)>. Acesso em: 13/09/2023.

HOANG, T. N.; VAN, S.; NGUYEN B. D. **ESP-NOW Based Decentralized Low Cost
Voice Communication Systems For Buildings**. In: International Symposium on
Electrical and Electronics Engineering (ISEE), Ho Chi Minh City, Vietnam. 2019.
Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8921062>>. Acesso em:
07/09/2023.

HUINFINITO. **Módulo Sensor de Luz - LDR**. Disponível em:
<<https://www.huinfinito.com.br/arduino/970-modulo-sensor-de-luz-ldr.html>>.
Acesso em 16 de novembro de 2023.

IOTDESIGN PRO. **ESP32 Data Logging to Google Sheets with Google Scripts**.
2022. Disponível em: <[https://iotdesignpro.com/articles/esp32-data-logging-to-
google-sheets-with-google-scripts](https://iotdesignpro.com/articles/esp32-data-logging-to-google-sheets-with-google-scripts)>. Acesso em: 20/09/2023.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. International
Standard 16387 - **Soil quality** - Effects of pollutants on Enchytraeidae
(Enchytraeus sp.) - Determination of effects on reproduction and survival. 23 p.
2023.

JAN, F.; MIN-ALLAH, N.; DÜŞTEGÖR, D. IoT Based Smart Water Quality
Monitoring: Recent Techniques, Trends and Challenges for Domestic
Applications. **Water**, 2021, 13, 1729. <https://doi.org/10.3390/w13131729>.

KAGINALKAR, A.; KUMAR, S.; GARGAVA, P.; NIYOGI, D. Review of urban computing in air quality management as smart city service: An integrated IoT, AI, and cloud technology perspective. **Urban Climate**, Volume 39, 2021, 100972, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100972>.

KASHEF, M.; VISVIZI, A.; TROISI, O. Smart city as a smart service system: Human-computer interaction and smart city surveillance systems, **Computers in Human Behavior**, Volume 124, 2021, 106923, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106923>.

KIM, H.; CHOI, H.; KANG, H.; AN, J.; YEOM, S.; HONG, T. A systematic review of the smart energy conservation system: From smart homes to sustainable smart cities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 140, 2021, 110755, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110755>.

LAFRATTA, J. M.; LOPES, D. N.; CASTRO, M. A. S. **Desenvolvimento de sistema de monitoramento remoto de processo de compostagem baseado no conceito de Internet das Coisas**. In: 31º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Curitiba, 2021. Disponível em: <https://icongresso.abes-dn.itarget.com.br/arquivos/trabalhos_completos/abes-dn/9/1082_03092021_170831214.docx>. Acesso em: 25/09/2023.

LITJENS, O. J. **Automação de estufas agrícolas utilizando sensoriamento remoto e o protocolo Zigbee**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/4edf63f5-ee58-4555-9851-299ebf4abec3/Litjens_Otto_Jacob.pdf>. Acesso em: 25/04/2024.

LUI, M. L. C.; PETARNELLA, L. As cidades inteligentes e os desafios para a implantação da garantia da qualidade de serviços. *R. Tecnol. Soc.*, Curitiba, v. 16, n. 39, p. 182-198, jan/mar. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9586>. Acesso em: 28 out. 2025.

MAIER, A.; SHARP, A.; VAGAPOV, Y. **Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things**. In 2017 Internet Technologies and Applications (ITA), Wrexham, UK, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8101926>>. Acesso em: 12/09/2023.

MARTINS, M. R.; PIRES, M. S. G. Multigenerational and transgenerational effects of ciprofloxacin on the reproduction of *Enchytraeus crypticus*. **Applied Soil Ecology**, v. 212, p. 106171, 2025.

MATOS, A. P. A.; ZUIN, L. F. S. A tríade ensino-pesquisa-extensão nas universidades públicas brasileiras sob o olhar CTS. A perspectiva de Renato Dagnino sobre a relação universidade-sociedade. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad**, 17(50), 65-83. 2022. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8735011.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2025.

MEIJER, A.; BOLÍVAR, M. P. R. Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. **International Review of Administrative Sciences**, 82(2), 392-408. 2016. <https://doi.org/10.1177/0020852314564308>.

MELO, A. B.; VIERA, J. **Desenvolvimento de um Sistema de Telemetria utilizando conceitos de IOT**. In: XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT), Santarém, 2016. Disponível em: <<https://biblioteca.sbrt.org.br/articlefile/1288.pdf>>. Acesso em: 25/09/2023.

MOREIRA, B. J.; PIRES, M.S.G. Assessing soil toxicity of the pharmaceutical nimesulide using edaphic fauna *Enchytraeus crypticus*. **Applied Soil Ecology**, v. 199, p. 105397, 2024.

NEGER. **RuralMax Pro** – Plataforma avançada de conectividade rural. 2023. Disponível em: <<https://www.neger.net.br/produtos/internet-rural/kit-essencial-ruralmax-pro-plataforma-avancada-de-conectividade-rural>>. Acesso em: 14/11/2023.

PEREIRA, G. M. **Princípios de telemetria aplicados ao monitoramento de hardware via interface web**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/27276>>. Acesso em: 25/09/2023.

PIOVESAN, F. C. **Telemetria aplicada na mecanização agrícola utilizando o datalogger CR 1000**. Trabalho de conclusão de curso (Ciência da Computação). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/25413>>. Acesso em: 13/09/2023.

PONCHET, P. B. **Avaliação do transformador de corrente SCT-013 aplicado em medidor eletrônico de potência**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/18687>>. Acesso em: 20/09/2023.

SHEN, G.; LIU, B. **The visions, technologies, applications and security issues of Internet of Things**. In: International conference on E-Business and E-Government,

Shanghai, 2011. Disponível em:

<<https://ieeexplore.ieee.org/document/5881892>>. Acesso em: 05/06/2023.

SILVA, L. L. G.; GUEDES, M. J. F.; LIMA, D.F.; CAMPOS, T. M. C. M; FERNANDES, R. T. V.; SOUZA JUNIOR, A. M. Processo participativo para construção dos Objetivos de Desenvolvimento Urbano Sustentável no Brasil. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 21, n. 65, p.35-59, jul./set., 2025. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/19502>. Acesso em: 20 out. 2025.

SILVA, A. S. B.; BERNARDO, A. C. F.; RIBEIRO, D.; MARIER, J. B. A.; BELLINE, Y. P. **Qualidade total: Os princípios de Deming em uma multinacional**. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_227_328_29587.pdf>. Acesso em: 23/05/2023.

SILVA, I. L. **Desenvolvimento de uma Estufa Automatizada Baseada em IOT para Uso Residencial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2020. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/436/browse?order=ASC&rpp=20&sort_by=1&etal=-1&offset=61&type=title&starts_with=C>. Acesso em: 16/09/2023.

SINGH, K. J.; KAPOOR, D.S. A survey of IoT platforms: Create your own Internet of Things. **IEEE Consumer Electronics Magazine**, v. 6, n. 2, p. 57-68, 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7879392/citations#citations>>. Acesso em: 12/09/2023.

SOURCEFORGE. **Open Source vs. Closed Source (Proprietary) Software: A Never-Ending Debate**. 2022. Disponível em: <<https://sourceforge.net/articles/open-source-vs-closed-source-proprietary-software-a-never-ending-debate/>>. Acesso em: 01/06/2023.

SURESH, P.; DANIEL, J. V.; PARTHASARATHY, V.; ASWATHY, R. H. **A state of the art review on the Internet of Things (IoT) history, technology and fields of deployment**. 2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR). Chennai, India, p. 1-8, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7043637/>>. Acesso em: 19/11/2023.

ZANUZZO, L. T. **Sistema de monitoramento do consumo de água controlado por um aplicativo Android**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia da Computação), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/97/970010/tce-13042018-164107/publico/Zanuzzo_Lucas_tcc.pdf>. Acesso em: 25/09/2023.

Recebido: 03/02/2025
Aprovado: 12/11/2025
DOI: 10.3895/rts.v22n68.19854

Como citar:

JESUS, Lucas Barreto de; MOREIRA, Lucas Tadeu de Carvalho; CASTRO, Marco Aurélio Soares de. Desenvolvimento de dispositivo para monitoramento remoto de ambientes controlados. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 22, n. 68, p.399-420, jan./mar, 2026. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/19854>

Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

