

3.04.06 - Engenharia Elétrica / Telecomunicações

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA MONITORAMENTO REMOTO DE PARÂMETROS DE UM PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Daniilo N. Lopes^{1*}, Marco Aurélio S. de Castro²

1. Estudante da Faculdade de Tecnologia da Unicamp (FT-Unicamp)
2. Professor da FT-Unicamp (Engenharia Ambiental e Tecnologia em Saneamento Ambiental) / Orientador

Resumo

Praticamente a metade dos chamados Resíduos Sólidos Urbanos é composta por resíduos orgânicos, que podem ser gerenciados por meio da compostagem. No entanto, para manter um ambiente adequado para os microrganismos responsáveis pelo processo, é necessário o monitoramento de parâmetros como temperatura e umidade, o que tipicamente requer atuação de forma presencial.

Baseando-se no conceito de Internet das Coisas (IoT), este trabalho visou desenvolver um sistema de monitoramento remoto de um processo de compostagem, com o auxílio de sensores conectados a um microcontrolador enviando dados através de uma rede wi-fi para um aplicativo de *smartphone*.

Testes de campo confirmaram o funcionamento do sistema, cujo aspecto modular permite sua expansão para aplicação no monitoramento de múltiplos processos de compostagem, ou de processos em maior escala.

Palavras-chave: Gestão de resíduos sólidos; Internet das Coisas; Cidades Inteligentes.

Apoio financeiro: CNPq

Trabalho selecionado para a JNIC: PRP/Unicamp

Introdução

O crescimento populacional deve resultar em uma população mundial de 8,5 bilhões de pessoas em 2030 e quase 10 bilhões em 2050 (UNITED NATIONS, 2019). Ao mesmo tempo, a urbanização na Europa e grande parte das Américas, faz com que perto de 80% da população destas regiões atualmente residam em áreas urbanas (RICCI-JÜRGENSEN et al., 2020). Neste cenário, garantir qualidade de vida às populações urbanas demanda a redução de impactos socioambientais pela gestão e gerenciamento adequados dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

A busca por um ambiente urbano mais resiliente e sustentável também tem motivado a criação e desenvolvimento das *Smart Cities* (Cidades Inteligentes) (ALBINO et al, 2015). Neste contexto, uma alternativa frequente para aperfeiçoar o monitoramento e controle de ambientes e processos envolve a aplicação do conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things*, ou IoT). A IoT traz possibilidades de transformação do cenário urbano em vários aspectos, como na aplicação de tecnologias na gestão de RSU (ESMAEILIAN et al., 2018).

No Brasil, estima-se que mais da metade dos RSU gerados corresponde à fração orgânica (BRASIL, 2020); dentre as alternativas aplicáveis a estes resíduos, a compostagem se destaca pela facilidade de instalação, flexibilidade quanto ao porte, baixo custo operacional, além de gerar um composto aplicável em áreas de cultivo ou áreas degradadas a serem recuperadas.

Porém, a eficiência da compostagem depende da manutenção de uma série de parâmetros como aeração, temperatura, umidade, tamanho de partícula, relação C/N e pH (DIAZ et al, 2002). O monitoramento tradicional do processo requer a atuação presencial de uma ou mais pessoas na instalação, munidas de equipamentos para realizar medições com uma certa frequência e intervir no processo se necessário (revirando a massa de resíduos, por exemplo).

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver um sistema de monitoramento remoto de parâmetros que influenciam um processo de compostagem. Visou-se coletar dados de sensores instalados em composteiras previamente montadas, desenvolver e testar uma estrutura para envio e leitura desses dados.

Metodologia

A pesquisa se fundamentou basicamente em uma revisão bibliográfica acerca do contexto da geração de RSU no Brasil e da compostagem como estratégia de gestão, e no levantamento de informações sobre os sensores e outros dispositivos necessários para um sistema de monitoramento remoto. A seguir, foi conduzido um estudo de caso envolvendo o desenvolvimento propriamente dito do sistema e seu teste em uma situação real.

O dispositivo de monitoramento requereu a utilização de um microcontrolador, que pode ser definido como um pequeno componente eletrônico, equipado de uma inteligência programável por software, provido internamente de memória de programa, memória de dados, I/O digital e analógico composto de portas de entrada e saída paralelas, contadores, comunicação serial e conversores analógico-digitais (SOUZA, 2005). O projeto em questão utilizou um microcontrolador ESP32, que tem como principais características a sua velocidade de

processamento, acessibilidade e conectividade para a tecnologia Bluetooth e Wi-fi (KOLBAN, 2018). Após a aquisição de uma unidade do ESP32, passou-se à fase de estudo do hardware e à elaboração da programação a ser empregada no sistema.

Além do ESP32, o sistema construído envolveu sensores DHT11, para medição simultânea de temperatura e umidade (SQUIDS, 2018); para o monitoramento remoto, os dados obtidos nas leituras de temperatura e umidade foram enviados via protocolo de Wi-Fi pelo ESP32, que foi conectado a uma placa Arduino Mega, conforme mostra a Figura 1.

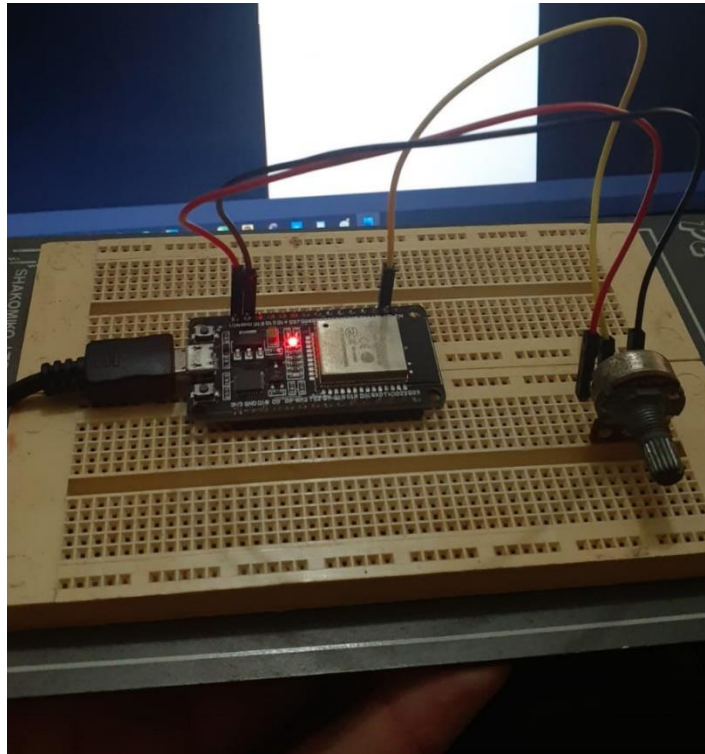


Figura 1 – Estrutura básica do sistema

No desenvolvimento do sistema, foram consideradas duas possibilidades para o acesso aos dados: leitura via interface (aplicativo web) para aparelhos celulares (*smartphones*), e envio para visualização em plataformas em nuvem; no caso particular desta pesquisa, optou-se pelo envio para aplicativo.

A interface do aplicativo foi desenvolvida através das linguagens de programação HTML5 e CSS. Para a comunicação com o servidor, foi utilizado o protocolo de comunicação MQTT, que realizou o envio dos dados coletados periodicamente, em intervalos de 5 segundos, pelo microcontrolador ESP32.

A estrutura modular do sistema demonstrou ter potencial para o acoplamento de sensores adicionais para o monitoramento de outros parâmetros, assim a interface já previu inicialmente a leitura e envio de valores de temperatura além da umidade. O sistema foi também programado para disparar um aviso para a pessoa operadora (ou interessada) caso os valores dos parâmetros coletados pelos sensores estejam fora dos limites. Neste caso, para o parâmetro umidade, o intervalo esperado era de 40% - 60%, e para o parâmetro de temperatura, era esperado um valor entre 25°C - 40°C.

Resultados e Discussão

Os testes foram realizados no campus da Faculdade de Tecnologia (Limeira-SP); uma composteira foi montada e carregada com resíduos domiciliares comuns (restos de alimentos). Os sensores foram inseridos no interior da massa de resíduos, para verificar a viabilidade de coleta e transmissão de dados para o aplicativo.

A seguir, foi feita a testagem da rede wi-fi disponível na área da instalação. No momento do teste, constatou-se a necessidade de configurar uma rede local como forma de simular a comunicação a ser feita em campo.

Os testes bem-sucedidos, com a simulação de rede para o módulo ESP permitindo que as leituras dos parâmetros fossem enviadas para o aplicativo desenvolvido para *smartphones* (Figura 2).



Figura 2 -Teste de conectividade com a rede Wi-Fi

A visão geral da interface é apresentada na Figura 3; observa-se o momento de verificação de leitura do sensor de umidade, e o aviso automático de alerta.



Figura 3 - Visão da interface, com a leitura do sensor de umidade

Inicialmente, pretendia-se também que os resultados fossem enviados via wi-fi para uma plataforma em nuvem para leitura e visualização dos dados em tempo real. Isso motivou a solicitação para instalação de uma rede dedicada para dispositivos IoT no campus da Faculdade, o que veio a ocorrer posteriormente à conclusão da pesquisa.

Vale ressaltar que uma pesquisa de Mestrado, a partir desta infraestrutura, desenvolveu um sistema de monitoramento remoto e atuação automática em um grupo de composteiras; neste caso os dados foram enviados para a plataforma em nuvem ThingSpeak, sendo acessadas em tempo real já na forma de gráfico (LAFRATTA et al, 2021) (Figura 4).

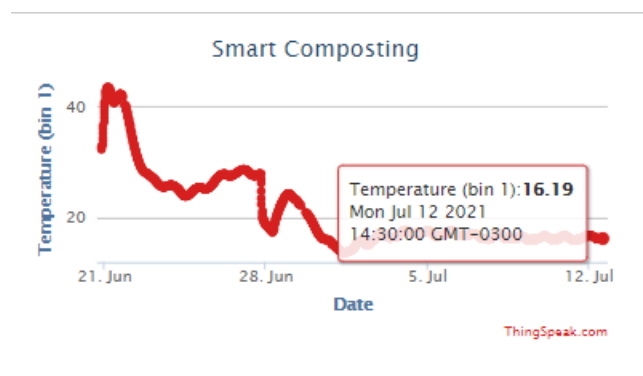


Figura 4 - Dados de temperatura mostrados em tempo real na plataforma ThingSpeak (LAFRATTA et al, 2021)

Conclusões

O sistema desenvolvido se comportou como previsto ao coletar e enviar periodicamente dados do parâmetro para a interface criada. Verificou-se que o aspecto modular do sistema permite que sensores adicionais possam ser reunidos em um único dispositivo, ou mesmo ter dispositivos distribuídos atuando em diferentes composteiras, enviando-se todos os dados para uma única interface, neste caso um aplicativo para celular *smartphone*. Ao mesmo tempo, o sistema desenvolvido mostrou ser acessível e de manuseio facilitado, podendo em princípio ser operado por qualquer pessoa.

Uma limitação natural da infraestrutura é a necessidade de acesso a uma rede wi-fi estável para a coleta e recepção constante dos dados.

O presente trabalho buscou mostrar que o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação no monitoramento de processos de manejo de resíduos pode permitir a ampliação do conhecimento acerca do comportamento desses processos. Com efeito, os valores dos parâmetros podem ser obtidos várias vezes por hora através do sistema desenvolvido, enquanto que no processo convencional/manual a coleta de dados tipicamente ocorre poucas vezes por semana, e depende de atuação presencial no local da estrutura.

Por fim, a possibilidade de aperfeiçoamento do sistema, bem como o desenvolvimento e aplicação de sistemas baseados em IoT à compostagem e a outros processos seguirão sendo objeto de novas pesquisas, que podem contribuir para a gestão mais eficiente de Resíduos Sólidos Urbanos no país.

Referências bibliográficas

- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. **Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives**. Journal of Urban Technology, 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (versão para consulta pública)**. 198 p. 2020.
- DIAZ, M.J.; MADEJON, E.; LOPEZ, F.; LOPEZ, R.; CABRERA, F. **Optimization of the rate of vinasse/grape marc for co-composting process**. Process Biochemistry, v. 37, n. 10, p. 1143-1150, 2002.
- ESMAELIAN, B.; WANG, B.; LEWIS, K.; DUARTE, F.; RATTI, C.; BEHDAD, S. **The future of waste management in smart and sustainable cities: A review and concept paper**. Waste Management, v. 81, p. 177–195, 2018.
- KOLBAN, N. **Kolban's book on ESP32. [S.I.]: Leanpub**, 2018.
- 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. 31º Congresso da ABES, 17 a 20 de outubro de 2021.
- RICCI-JÜRGENSEN, M.; GILBERT, J.; RAMOLA, A. **Global assessment of municipal organic waste production and recycling**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.iswa.org/iswa/iswa-groups/working-groups/>. Acesso em 10 out. 2020.
- SQUIDS. Projeto 42 - Comparando sensores de temperatura NTC 10K, DHT11 e LM35. Disponível em: <http://www.squids.com.br/arduino/index.php/projetos-arduino/projetos-squids/basico/159-projeto-42-comparando-sensores-de-temperatura-ntc-10k-dht11-e-lm35>. Acesso em: 21 abr. 2020.
- SOUZA, D. J. **Desbravando o PIC: Ampliado e Atualizado para PIC 16F628A**. 8 ed. São Paulo, SP, Brazil: Érica, 2005.
- UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2019: Highlights**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. ST/ESA/SER.A/423. New York. 46 p. 2019.