



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

**Palavras-Chave:** Resíduos Sólidos; Compostagem, Cidades Inteligentes.

**Autores/as:**

**DANILO NOGUEIRA LOPES [FT/UNICAMP]**

**PROF. DR. MARCO AURÉLIO SOARES DE CASTRO (orientador) [FT/UNICAMP]**

---

## INTRODUÇÃO:

Como resultado dos processos de urbanização atuais, regiões como Europa e grande parte das Américas já atingiram ou estão próximas de atingir a taxa de 80% de pessoas vivendo em áreas urbanas (RICCI-JÜRGENSEN et al., 2020). Além disso, o crescimento populacional deve resultar em uma população mundial de 8,5 bilhões de pessoas em até 2030 e quase 11 bilhões até 2100 (UNITED NATIONS, 2019). Assim, o desafio de garantir qualidade de vida a esse número crescente de pessoas nos centros urbanos, passa pela mitigação de impactos socioambientais com gestão e gerenciamento adequado dos resíduos.

Dentre as alternativas de gestão, a compostagem se destaca por sua facilidade de instalação, flexibilidade quanto ao porte baixo custo operacional e possibilidade de aplicar o composto resultante em áreas de cultivo ou áreas degradadas. Contudo, se faz necessário ter um ambiente adequado para os microrganismos responsáveis pelo processo (DIAZ et al., 2002), o que implica acompanhar e monitorar alguns parâmetros.

A busca por um ambiente urbano mais sustentável também tem sido impulsionada pela criação e desenvolvimento das *Smart Cities* (Cidades Inteligentes) (ALBINO et al, 2015), em um processo que visa tornar inteligentes o monitoramento, controle de ambientes e os processos aplicando o conceito de Internet das Coisas (IoT). O surgimento da IoT trouxe expectativas de transformação do cenário urbano em vários aspectos, como na utilização de tecnologias aplicadas na gestão de resíduos sólidos urbanos (ESMAEILIAN et al., 2018).

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento para avaliar o desempenho de processos de compostagem monitorados remotamente, comparando-os com sistemas de operação manual tradicionais.

## METODOLOGIA:

O projeto está centrado em um estudo de caso envolvendo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento dos parâmetros que influenciam um processo de compostagem de resíduos orgânicos, mais especificamente de três composteiras construídas para tratar resíduos domiciliares (restos de alimentos). Posteriormente, os dados coletados foram comparados aos dados coletados manualmente de forma a verificar a veracidade dos dados para a aplicação permanente do sistema de monitoramento remoto construído.

Assim, foram levantadas informações sobre os sensores e demais dispositivos utilizáveis no sistema, e a instalação e operação de dois sistemas com três composteiras cada operando da seguinte forma:

- **Sistema '1'**: temperatura e umidade monitoradas de modo convencional - medição e avaliação no local;
- **Sistema '2'**: temperatura e umidade monitoradas remotamente, com o auxílio de sensores que enviam informações para o sistema de monitoramento descrito adiante, mais um sistema de ventilação com atuação automática.

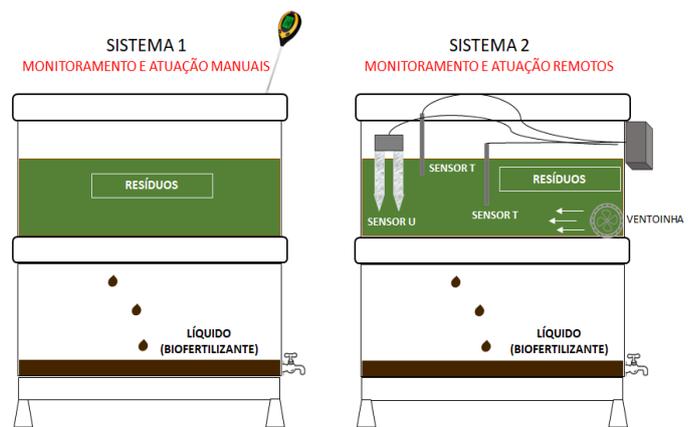


Figura 1 -Visão esquemática dos sistemas

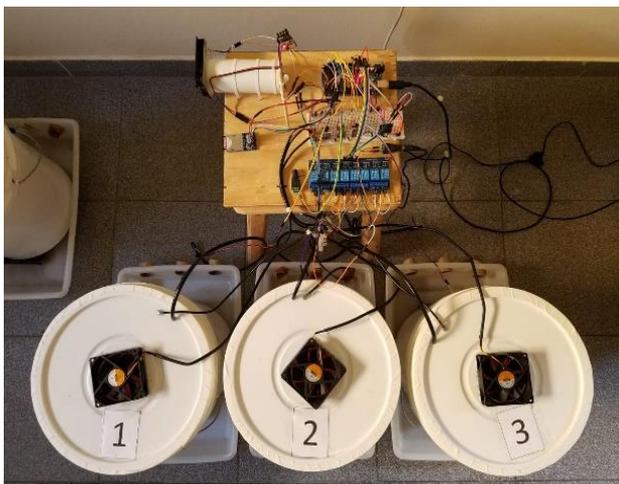


Figura 2 - Sistema 2 de Composteiras

As composteiras foram carregadas com resíduos orgânicos provenientes da mesma origem ('varejões'), que terão o valor de sua relação C/N determinada antes do início do processo.

O sistema '2' de monitoramento foi formado por dois sensores de temperatura, colocados em diferentes profundidades da massa de resíduos, e um sensor de umidade. A figura 2 apresenta exemplos das composteiras utilizadas e uma visão esquemática dos sistemas.

Para o envio dos dados dos sensores, foi utilizado o microcontrolador ESP32, que possui como principais características a sua velocidade de processamento, acessibilidade e conectividade para a tecnologia Bluetooth e Wi-fi. (KOLBAN, 2018); o ESP32 foi conectado a uma rede Wi-Fi local

e enviou, via protocolo de comunicação MQTT, os valores de leitura recebido dos sensores para a plataforma em nuvem ThingSpeak. Nessa plataforma, os dados são disponibilizados para visualização em tempo real ou podem ser baixados em um arquivo .csv para posterior tratamento e análise. A Figura 3 apresenta um resumo esquemático dessa estrutura.

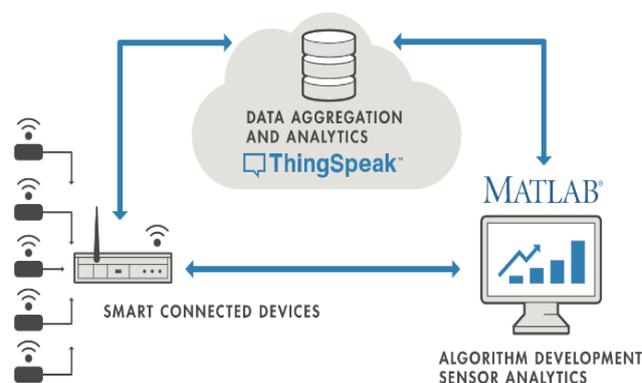


Figura 3 - Fluxo de movimento dos dados

Por sua vez, o sistema de atuação automática envolveu o acionamento de um dispositivo de ventilação sempre que a temperatura no substrato atingir um limite pré-determinado (inicialmente considerou-se 65°C).

Além dos parâmetros mencionados, a temperatura dos ambientes foi monitorada diariamente, determinando-se os valores máximo e mínimo. Após a identificação do fim do processo de compostagem, amostras do composto passarão por testes de toxicidade e terão sua relação C/N determinada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os testes foram concretizados com sucesso e a construção do circuito foi finalizada, conforme Figura 4; além disso, a simulação de rede para o ESP32 funcionou como o esperado. Inicialmente pretendia-se conectá-lo a uma rede dedicada para dispositivos IoT, cuja instalação foi solicitada e realizada no campus da Faculdade de Tecnologia. Porém, por conta das restrições impostas pela pandemia, o ensaio acabou não sendo realizado na área da faculdade, assim foi utilizada uma rede Wi-Fi local.

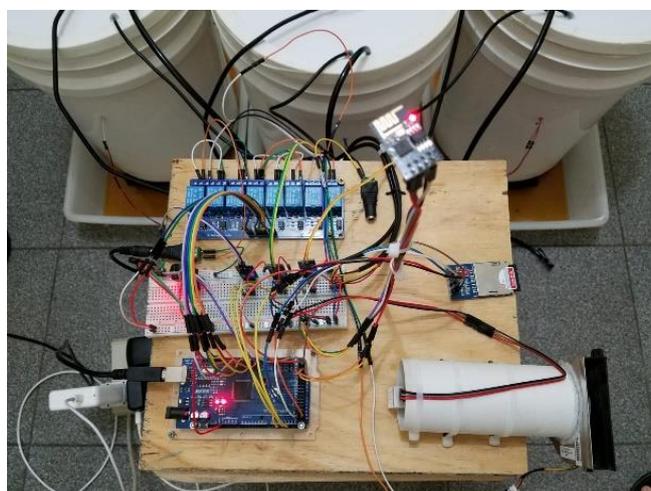


Figura 4 - Sistema de monitoramento em funcionamento

Definido o local de operação, as composteiras foram montadas já com todos os sensores e receberam os resíduos, iniciando-se o envio dos dados coletados por ele para a plataforma ThingSpeak.

Os dados foram recebidos pela plataforma e os valores foram comparados a cada 7 dias, conforme indicado na Figura 5,

O sistema de atuação automática da temperatura foi programado para funcionar a cada cinco minutos durante trinta segundos. Se a temperatura chegasse a mais de 60°C, as ventoinhas também foram programadas a funcionar diretamente até que a temperatura atingisse 55°C. Por sua vez, os gotejadores foram programados para funcionar se a umidade do substrato atingisse um valor menor que 40%, atuando e até que ela atingisse o valor de 55%. Após as comparações, notou-se que as primeiras coletas de dados químicos foram melhores no sistema automatizado. Além disso, em todas as análises de parâmetros, o sistema desenvolvido respondeu melhor em comparação ao sistema manual.

Observou-se que o sistema se comportou de forma adequada ao realizar operações necessárias para o processo de compostagem, e que usualmente ocorreriam de forma presencial e manual. Dessa forma, a longo prazo, espera-se que tal sistema possa contribuir para a gestão mais eficiente da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, favorecendo indiretamente a redução na disposição destes resíduos em aterros.

Observou-se que o sistema se comportou de forma adequada ao realizar operações necessárias para o processo de compostagem, e que usualmente ocorreriam de forma presencial e manual. Dessa forma, a longo prazo, espera-se que tal sistema possa contribuir para a gestão mais eficiente da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, favorecendo indiretamente a redução na disposição destes resíduos em aterros.

## CONCLUSÕES:

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, isto porque os valores de diversos parâmetros puderam ser obtidos várias vezes por hora através do sistema desenvolvido, diferente do processo manual, em que a coleta ocorre poucas vezes por semana.

O protótipo desenvolvido tem o seu manuseio facilitado, além de ser escalável e pode ser operado por qualquer pessoa, havendo apenas a restrição de acesso à Internet via redes de comunicação sem fio.

Sistemas remotos e autônomos como o proposto neste trabalho têm potencial de possibilitar intervenções e tomadas de decisão mais rápidas em caso de eventuais perturbações, contribuindo assim para manter os parâmetros de processos de compostagem em suas faixas de valores ideais. A possibilidade de aperfeiçoamento deste sistema, bem como o desenvolvimento e aplicação de sistemas semelhantes a outros processos de gestão e gerenciamento de resíduos deve ser objeto de novas pesquisas em um futuro próximo.

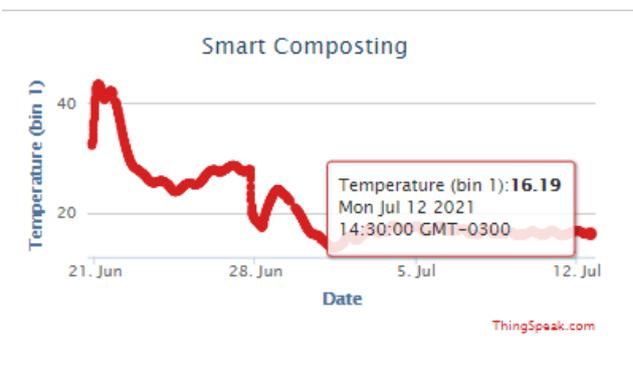


Figura 5 - Dados enviados para a plataforma ThingSpeak

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. **Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives**, Journal of Urban Technology, 2015.
- DIAZ, M.J.; MADEJON, E.; LOPEZ, F.; LOPEZ, R.; CABRERA, F. **Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process**. Process Biochemistry, v. 37, n. 10, p. 1143-1150, 2002.
- ESMAEILIAN, 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, Neil. **Kolban's book on ESP32**. [s.l.]: Leanpub, 2018.
- 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.
- 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.