



Freshness de Alimentos Perecíveis

Marcos Morais - RA: 202410496

Samuel Sousa - RA: 202410899

Projeto de Física Experimental I (GFI130)

Docente: Prof. JOSE NOGALES VERA

05/02/2025

Sumário

1	Introdução	2
1.1	Importância da Segurança Alimentar	2
1.2	Desperdício Alimentar: Um Problema Global	2
1.3	A Relevância do Estudo da Decomposição de Alimentos	2
2	Decomposição da Banana	3
3	metodologia	4
4	Resultados	6
4.1	Matriz de Correlação	6
4.2	Tendência Temporal dos Sensores MQ	7
4.3	Análise de Causalidade de Granger	8
4.4	Interpretação da Cadeia de Eventos	9
4.5	Análise do Gráfico de Médias Diárias	10
4.5.1	Principais Observações	10
4.5.2	Conclusões sobre a Observação das Médias Diárias	11
5	Conclusão	12

Resumo

A segurança alimentar e a diminuição do desperdício alimentar são temas de crescente relevância nas discussões sobre sustentabilidade e saúde pública. Este estudo investiga a decomposição da banana, um alimento amplamente consumido, utilizando sensores de gás para monitorar os fatores que influenciam seu processo de deterioração, com o objetivo de contribuir para práticas mais eficazes na minimização do desperdício alimentar.

1. INTRODUÇÃO

A **segurança alimentar** e a **diminuição do desperdício alimentar** são temas de crescente relevância nas discussões sobre sustentabilidade e saúde pública.

1.1. Importância da Segurança Alimentar

A segurança alimentar visa garantir o acesso a alimentos seguros e nutritivos para todos, prevenindo doenças e promovendo o bem-estar das populações. Em um cenário global de desafios alimentares, é fundamental que os sistemas de produção e distribuição assegurem alimentos de qualidade para todos.

1.2. Desperdício Alimentar: Um Problema Global

Por outro lado, o desperdício alimentar, que ocorre em todas as etapas da cadeia produtiva, desde a colheita até o consumo, tem impactos ambientais e econômicos significativos, além de contribuir para a escassez de alimentos em regiões vulneráveis. O desperdício de alimentos também resulta em uma ineficiência na utilização de recursos naturais, como água, energia e terra, que são desperdiçados quando os alimentos não chegam ao consumo.

1.3. A Relevância do Estudo da Decomposição de Alimentos

Dentro deste contexto, o estudo da **decomposição de alimentos**, como a banana, não só oferece insights sobre o processo biológico de deterioração, mas também sobre práticas que podem ser aplicadas para reduzir perdas e melhorar a sustentabilidade no manejo de alimentos. A decomposição da banana, por exemplo, envolve processos complexos de respiração e produção de etileno, que influenciam diretamente sua durabilidade e, portanto,

seu desperdício. Este experimento visa investigar a decomposição da banana, um alimento amplamente consumido, para compreender melhor as condições que influenciam sua durabilidade e, por consequência, contribuir para práticas mais eficazes na minimização do desperdício alimentar.

2. DECOMPOSIÇÃO DA BANANA

Para investigar a decomposição da banana, foi realizado um experimento em um ambiente controlado, onde duas bananas foram colocadas em uma câmara fechada com as dimensões aproximadas de 30 x 20 x 12 cm³. Esse espaço limitado permitiu monitorar de maneira eficiente as alterações nos gases presentes ao longo do processo de decomposição. As bananas foram mantidas em condições que simulavam um ambiente com pouca ventilação, com o objetivo de observar os efeitos da concentração de gases como dióxido de carbono (CO₂) e etileno (C₂H₄) durante o amadurecimento e a deterioração da fruta.

Para entender melhor as condições que influenciam a decomposição da banana, foi utilizado um conjunto de sensores MQ, modelos 3, 4, 7, 8 e 135, que permitem monitorar os gases emitidos durante o processo de decomposição, como o dióxido de carbono (CO₂), etileno (C₂H₄) e outros compostos voláteis. Estes sensores são capazes de detectar variações nas concentrações desses gases, proporcionando dados valiosos para analisar como fatores como temperatura e atmosferas controladas impactam a taxa de decomposição da banana.

O MQ-3, por exemplo, é útil para detectar etanol e monóxido de carbono, enquanto o MQ-7 se foca no monóxido de carbono. Já o MQ-135 é sensível a uma ampla gama de compostos orgânicos voláteis, incluindo amônia e benzeno, que podem ser gerados durante a decomposição. A integração desses sensores no experimento permitiu uma observação mais detalhada das mudanças nos gases presentes, ajudando a compreender como esses fatores interagem para acelerar ou retardar o amadurecimento e a deterioração da banana.

Além dos sensores de gases, foi utilizado um sensor de temperatura e umidade DHT11 para monitorar as condições ambientais dentro da câmara. O DHT11 forneceu dados importantes sobre a variação da temperatura e umidade relativa, que são variáveis cruciais, pois influenciam diretamente os processos de respiração e produção de etileno nas bananas.

Os sensores estavam conectados a um sistema que coletava dados continuamente durante o experimento, que teve uma duração de pouco mais de 130 horas. As leituras de gases e condições ambientais eram feitas em intervalos regulares, proporcionando uma visão detalhada das mudanças na composição atmosférica dentro da câmara.

Além do monitoramento dos gases e das condições ambientais, foi realizado o registro de imagens a cada minuto, com o intuito de acompanhar o aspecto físico da banana ao longo do tempo. Essas imagens foram registradas de forma sistemática para permitir uma análise visual da evolução da decomposição, incluindo alterações no formato, cor e textura da fruta.

Os dados coletados, tanto dos sensores quanto das imagens, eram enviados em tempo real para um servidor online por meio de uma API, garantindo a centralização e o processamento adequado das informações. Após a conclusão do experimento, os dados foram analisados para identificar padrões e tendências nas variáveis estudadas, como a relação entre a concentração de gases, temperatura, umidade e a deterioração física da banana. Com base nesses dados, gráficos foram gerados para uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a decomposição e, assim, avaliar como práticas de controle poderiam ser aplicadas para minimizar o desperdício alimentar.

3. METODOLOGIA

Para investigar a decomposição da banana, foi realizado um experimento em um ambiente controlado, onde duas bananas foram colocadas em uma câmara fechada com as dimensões aproximadas de 30 x 20 x 12 cm³. Esse espaço limitado permitiu monitorar de maneira eficiente as alterações nos gases presentes ao longo do processo de decomposição. As bananas foram mantidas em condições que simulavam um ambiente com pouca ventilação, com o objetivo de observar os efeitos da concentração de gases como dióxido de carbono (CO) e etileno (CH) durante o amadurecimento e a deterioração da fruta.

Para entender melhor as condições que influenciam a decomposição da banana, foi utilizado um conjunto de sensores MQ, modelos 3, 4, 7, 8 e 135, que permitem monitorar os gases emitidos durante o processo de decomposição, como o dióxido de carbono (CO), etileno (CH) e outros compostos voláteis. Estes sensores são capazes de detectar variações nas concentrações desses gases, proporcionando dados valiosos para analisar como fatores

como temperatura e atmosferas controladas impactam a taxa de decomposição da banana.

O MQ-3, por exemplo, é útil para detectar etanol e monóxido de carbono, enquanto o MQ-7 se foca no monóxido de carbono. Já o MQ-135 é sensível a uma ampla gama de compostos orgânicos voláteis, incluindo amônia e benzeno, que podem ser gerados durante a decomposição. A integração desses sensores no experimento permitiu uma observação mais detalhada das mudanças nos gases presentes, ajudando a compreender como esses fatores interagem para acelerar ou retardar o amadurecimento e a deterioração da banana.

Além dos sensores de gases, foi utilizado um sensor de temperatura e umidade DHT11 para monitorar as condições ambientais dentro da câmara. O DHT11 forneceu dados importantes sobre a variação da temperatura e umidade relativa, que são variáveis cruciais, pois influenciam diretamente os processos de respiração e produção de etileno nas bananas.

Os sensores estavam conectados a um sistema que coletava dados continuamente durante o experimento, que teve uma duração de pouco mais de 130 horas. As leituras de gases e condições ambientais eram feitas em intervalos regulares, proporcionando uma visão detalhada das mudanças na composição atmosférica dentro da câmara.

Além do monitoramento dos gases e das condições ambientais, foi realizado o registro de imagens a cada minuto, com o intuito de acompanhar o aspecto físico da banana ao longo do tempo. Essas imagens foram registradas de forma sistemática para permitir uma análise visual da evolução da decomposição, incluindo alterações no formato, cor e textura da fruta.

Os dados coletados, tanto dos sensores quanto das imagens, eram enviados em tempo real para um servidor online por meio de uma API, garantindo a centralização e o processamento adequado das informações. Após a conclusão do experimento, os dados foram analisados para identificar padrões e tendências nas variáveis estudadas, como a relação entre a concentração de gases, temperatura, umidade e a deterioração física da banana. Com base nesses dados, gráficos foram gerados para uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a decomposição e, assim, avaliar como práticas de controle poderiam ser aplicadas para minimizar o desperdício alimentar.

4. RESULTADOS

Os dados coletados durante o experimento foram analisados para avaliar a relação entre as variáveis monitoradas e os fatores que influenciam a decomposição da banana. Inicialmente, foi realizado um histograma para visualizar a distribuição dos valores registrados pelos sensores ao longo do tempo. Este histograma revelou flutuações nas concentrações dos gases, temperatura e umidade, permitindo identificar padrões diretamente relacionados ao processo de decomposição da banana.

Observou-se uma tendência crescente nas concentrações de dióxido de carbono (CO_2) ao longo do tempo, o que corrobora o aumento da respiração celular da banana à medida que a fruta amadurece e se deteriora. A produção de etileno (C_2H_4) também apresentou um aumento, indicando a liberação do hormônio volátil, que acelera o processo de amadurecimento. As variações de temperatura e umidade, monitoradas pelo sensor DHT11, mostraram uma forte influência sobre esses processos, evidenciando que condições ambientais controladas impactam significativamente a taxa de decomposição.

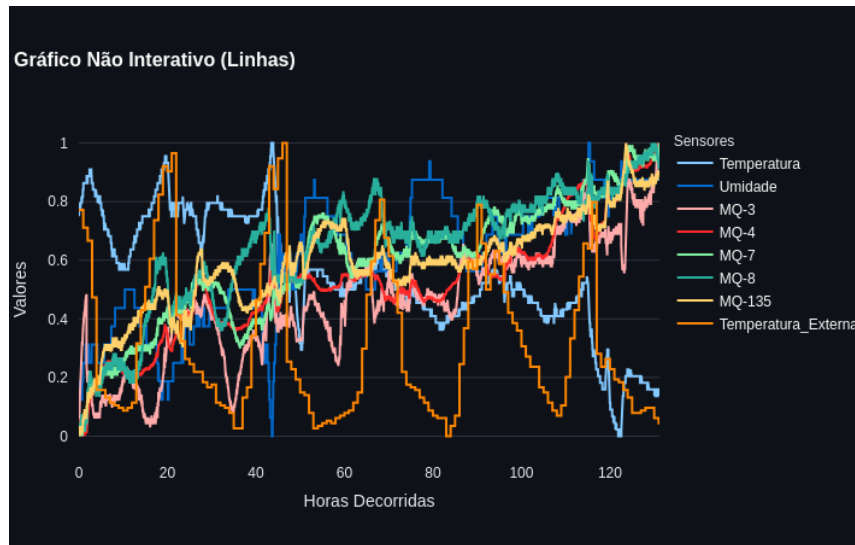


Figura 1: Histograma das concentrações dos gases e parâmetros ambientais durante o experimento.

4.1. Matriz de Correlação

A análise da matriz de correlação revelou fortes relações entre as variáveis monitoradas. Os principais pontos observados foram:

- **Correlação negativa forte entre temperatura e sensores MQ (-0.94 a -0.96):** Conforme a temperatura diminui, a concentração de gases detectados aumenta. Esse comportamento sugere que a redução da temperatura pode intensificar a liberação de gases como CO₂ e etileno, acelerando o processo de decomposição.
- **Correlação positiva forte entre umidade e sensores MQ (0.94 a 0.96):** A umidade parece intensificar a liberação de compostos orgânicos voláteis (COVs), indicando que condições mais úmidas podem acelerar a deterioração da banana.
- **Correlação positiva entre os sensores MQ (0.95 a 0.98):** Todos os sensores MQ mostraram aumento simultâneo nas concentrações dos gases durante o experimento, sugerindo que os gases são liberados de forma coordenada durante a decomposição.

Esses resultados destacam a importância de controlar fatores como temperatura e umidade para otimizar a preservação de alimentos e reduzir o desperdício.

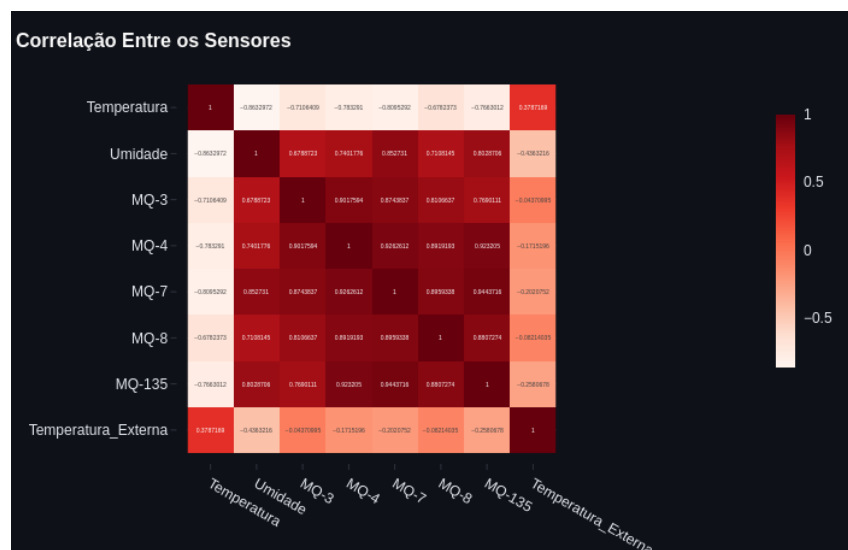


Figura 2: Mapa de calor mostrando a correlação entre os sensores de gases.

4.2. Tendência Temporal dos Sensores MQ

Além da matriz de correlação, a análise temporal dos dados também foi importante para entender como os sensores reagiram ao longo do tempo. Os principais pontos observados incluem:

- Todos os sensores MQ apresentaram crescimento nas concentrações dos gases ao longo do tempo, indicando um aumento na liberação de compostos voláteis durante a decomposição da banana.
- Pequenos picos e flutuações nas concentrações dos gases indicam momentos específicos de reações químicas mais intensas durante a degradação da fruta.
- O sensor MQ-135, em particular, apresentou o maior crescimento, sugerindo uma liberação mais significativa de compostos orgânicos voláteis (COVs), que são típicos do processo de decomposição.

Essas tendências são compatíveis com o entendimento de que o amadurecimento e a decomposição da banana são processos que envolvem a liberação de gases voláteis em uma sequência de reações bioquímicas e fisiológicas.

4.3. Análise de Causalidade de Granger

A análise de causalidade de Granger foi realizada para investigar os atrasos temporais entre os sensores MQ, o que revelou informações importantes sobre a sequência de liberação dos gases durante o processo de decomposição. Os principais resultados dessa análise são:

- **MQ-3 (Álcool e COVs) aumenta primeiro:** O sensor MQ-3 foi o primeiro a registrar aumento nas concentrações de compostos voláteis, sugerindo que a liberação inicial de COVs está associada ao início da decomposição.
- **MQ-4 (Metano), MQ-7 (Monóxido de Carbono) e MQ-8 (Hidrogênio) seguem com atraso de cerca de 1 hora:** Isso sugere que a liberação de COVs pelo sensor MQ-3 pode ativar processos microbianos que resultam na liberação de metano, monóxido de carbono e hidrogênio.
- **MQ-135 segue o aumento de MQ-3:** O sensor MQ-135, que detecta uma gama de compostos orgânicos voláteis, acompanha o aumento de MQ-3, indicando que a liberação de COVs precede a liberação de gases provenientes de processos fermentativos.

Essas descobertas sugerem que o processo de decomposição ocorre em etapas sequenciais, com a liberação inicial de compostos voláteis precedendo a produção de gases

de fermentação. O mapeamento da causalidade entre os sensores também indica que a sequência de eventos é fundamental para entender como as diferentes substâncias químicas são liberadas durante a decomposição.

A tabela a seguir apresenta os resultados da causalidade de Granger, destacando os melhores lags entre os sensores:

Relação	Melhor Lag (horas)
MQ-3, MQ-4	4
MQ-3, MQ-7	5
MQ-3, MQ-8	5
MQ-3, MQ-135	5
MQ-4, MQ-3	5
MQ-4, MQ-7	5
MQ-4, MQ-8	5
MQ-4, MQ-135	5
MQ-7, MQ-3	5
MQ-7, MQ-4	1
MQ-7, MQ-8	5
MQ-7, MQ-135	1
MQ-8, MQ-3	1
MQ-8, MQ-4	1
MQ-8, MQ-7	1
MQ-8, MQ-135	1
MQ-135, MQ-3	1
MQ-135, MQ-4	1
MQ-135, MQ-7	1
MQ-135, MQ-8	5

Tabela 1: Tabela de causalidade de Granger entre os sensores de gases.

4.4. Interpretação da Cadeia de Eventos

A cadeia de eventos identificada pela análise de causalidade de Granger pode ser interpretada da seguinte maneira:

1. O aumento inicial de MQ-3 indica o início do processo de decomposição, com a liberação de álcool e compostos orgânicos voláteis (COVs).
2. Cerca de 1 hora depois, os sensores MQ-4, MQ-7 e MQ-8 começam a detectar o aumento de metano, monóxido de carbono e hidrogênio, sugerindo que a liberação inicial de COVs ativou processos microbianos que resultaram na produção desses gases.

3. O sensor MQ-135 continua a registrar o aumento das concentrações de gases, representando a evolução do processo de decomposição, com a liberação de gases mais complexos e o avanço da fermentação.

Esses resultados fornecem uma visão detalhada da dinâmica de liberação de gases durante a decomposição da banana, permitindo entender melhor os processos bioquímicos que ocorrem ao longo do tempo e oferecendo insights sobre como esses dados podem ser utilizados para controlar e otimizar a preservação de alimentos.

4.5. Análise do Gráfico de Médias Diárias

Este gráfico apresenta a evolução das médias diárias das variáveis monitoradas ao longo do período de decomposição da banana, de 24 a 30 de janeiro de 2025.

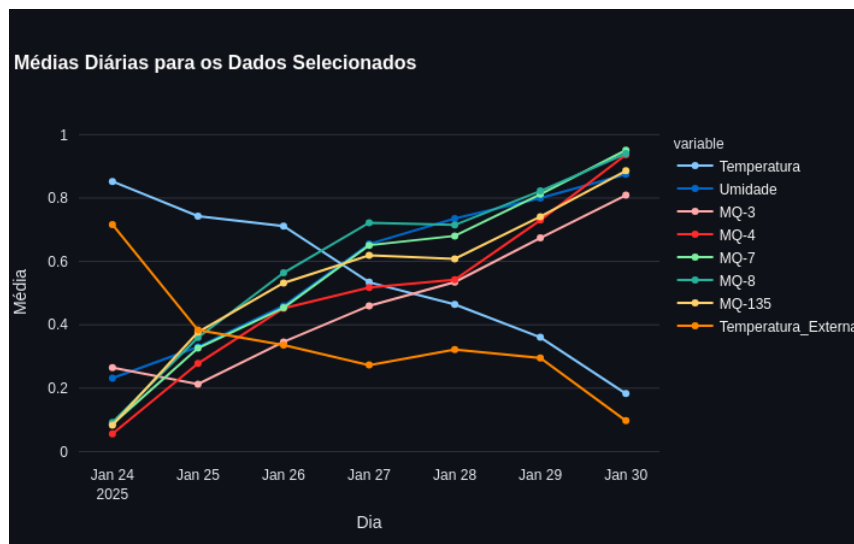


Figura 3: Gráfico das médias diárias das variáveis monitoradas durante o experimento.

4.5.1. Principais Observações

As observações dos gráficos das médias diárias revelaram as seguintes tendências:

1. Crescimento Consistente das Concentrações de Gases (MQ-3, MQ-4, MQ-7, MQ-8, MQ-135): - Ao longo do experimento, todas as concentrações de gases monitoradas mostraram um aumento gradual, o que está alinhado com o processo de decomposição da banana. Em especial, o sensor MQ-135, que detecta compostos orgânicos voláteis, demonstrou um aumento notável, indicando que a decomposição continua liberando gases de forma significativa ao longo dos dias.

2. Temperatura Estável com Pequenas Flutuações: - A temperatura se manteve estável durante a maior parte do experimento, com uma leve queda nos últimos dias. Isso sugere que fatores ambientais podem não ter variado de maneira significativa, mas a queda observada no final poderia influenciar o ritmo da decomposição.

3. Aumento Gradual da Umidade: - A umidade aumentou consistentemente, indicando que a banana estava liberando vapor d'água à medida que seu processo de decomposição avançava. Este aumento é esperado, visto que frutas em decomposição liberam umidade no ambiente.

4. Efeito da Queda de Temperatura Externa: - A temperatura externa, embora tenha caído drasticamente no final do período (dias 29 e 30), não parece ter influenciado diretamente o aumento da umidade ou das concentrações de gases nos sensores, sugerindo que outros fatores controlados, como a temperatura interna e a umidade do ambiente, foram mais determinantes para o processo de decomposição.

4.5.2. Conclusões sobre a Observação das Médias Diárias

A análise das médias diárias ao longo do experimento trouxe insights importantes sobre o processo de decomposição da banana:

1. Correlação entre Temperatura, Umidade e Liberação de Gases: - As médias diárias mostraram que, apesar da temperatura relativamente estável, a umidade teve um papel importante, aumentando conforme a decomposição avançava. Isso sugere que a liberação de compostos voláteis e gases durante a decomposição está intimamente relacionada à umidade no ambiente.

2. Comportamento Consistente dos Sensores de Gás: - Os sensores de gás mostraram um aumento contínuo nas concentrações dos compostos monitorados, corroborando a ideia de que a decomposição da banana seguiu um padrão crescente ao longo do período. O aumento notável do sensor MQ-135 reforça a presença de compostos orgânicos voláteis, típicos de processos de decomposição.

3. Influência da Queda de Temperatura: - Embora a queda de temperatura observada nos últimos dias tenha sido acentuada, sua influência sobre os dados foi relativamente pequena. Isso pode indicar que a atividade microbiana e a liberação de gases estavam mais relacionadas às condições internas de temperatura e umidade da banana, e menos à temperatura ambiente.

Essas observações reforçam a importância de monitorar as condições ambientais, como temperatura e umidade, para uma compreensão mais detalhada do processo de decomposição de alimentos. Além disso, os dados coletados sugerem que os sensores utilizados no experimento fornecem informações valiosas para o acompanhamento do estágio de decomposição e podem ser úteis na otimização de processos de preservação de alimentos.

5. CONCLUSÃO

O experimento realizado para analisar a decomposição da banana forneceu insights valiosos sobre os processos bioquímicos e fisiológicos envolvidos, assim como a dinâmica de liberação de gases voláteis durante esse processo. A análise dos dados coletados pelos sensores MQ, juntamente com a avaliação de variáveis como temperatura e umidade, permitiu compreender as interações entre essas variáveis ao longo do tempo.

Os resultados mostraram uma relação consistente entre a decomposição da banana e o aumento nas concentrações de gases voláteis detectados pelos sensores MQ, como metano, monóxido de carbono, hidrogênio e compostos orgânicos voláteis. A causalidade de Granger revelou que a liberação inicial de compostos voláteis (COVs), detectada pelo sensor MQ-3, ocorre antes da produção de metano, monóxido de carbono e hidrogênio, sugerindo uma sequência de eventos durante a decomposição. Além disso, o aumento gradual da umidade também foi identificado como um fator importante no processo de decomposição, indicando que a liberação de compostos gasosos e a umidade estão interligadas.

A análise das médias diárias das variáveis monitoradas ao longo de uma semana evidenciou que, apesar das flutuações da temperatura externa, a decomposição da banana seguiu um padrão consistente, com as concentrações de gases aumentando continuamente. A temperatura interna se manteve relativamente estável, enquanto a umidade aumentou, corroborando a ideia de que a decomposição está associada ao acúmulo de gases voláteis e à liberação de umidade.

Para facilitar a visualização e análise dos dados, desenvolvemos um dashboard interativo que permite observar diversas métricas e dados relacionados ao experimento. Esse dashboard oferece uma forma prática de explorar as informações, proporcionando

uma visão mais profunda das variáveis monitoradas ao longo do tempo. Os dados e as instruções para visualizá-los estão disponíveis no link [GitHub](#) . Além disso, também é possível visualizar o timelapse criado durante o experimento, que mostra a evolução do processo de decomposição, acessando o link do [YouTube](#).

Em termos práticos, as conclusões deste estudo têm implicações significativas para o controle e otimização de processos de preservação de alimentos. A monitorização de gases e umidade pode fornecer informações valiosas sobre o estágio de decomposição dos alimentos, permitindo prever melhor o momento de sua deterioração. Além disso, os dados podem ser utilizados para melhorar as condições de armazenamento e aumentar a vida útil dos produtos alimentícios.

Esses resultados também podem ser utilizados para o desenvolvimento de tecnologias de monitoramento mais eficientes, capazes de identificar a deterioração de alimentos de maneira mais precisa e em tempo real, contribuindo para a redução do desperdício alimentar e a melhoria das práticas de conservação.