



Sentinelas do céu: cartografia 3D de plumas industriais com drones autónomos personalizados

FLIGHT RESOURCE CENTER

Darica İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü



KOCAELİ - DARICA
İLÇE MİLLÎ EĞİTİM MÜDÜRLÜĞÜ

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

Índice

TABLE OF CONTENTS	1
1. SHORT DESCRIPTION	2
2. TARGET	2
3. SUBJECT AREA	2
4. TYPE	2
5. DRONE USED	3
6. DURATION	3
7. LEARNING OBJECTIVES	3
8. KEY COMPETENCES DEVELOPED	3
9. PRIOR KNOWLEDGE / PREREQUISITES	5
10. LESSON/PROJECT OUTLINE	7
11. ASSESSMENT CRITERIA	8
12. TEACHING MATERIALS	9
13. EXTERNAL RESOURCES	10
14. REFERENCES	11

1. BREVE DESCRIÇÃO

Neste projeto, os alunos utilizam um drone autónomo construído à medida, equipado com um registador de dados IoT independente (NodeMCU +

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

PM2.5 + BME680 + GPS externo), para analisar a qualidade do ar nas proximidades de zonas industriais. Ao contrário das estações de monitorização convencionais, este sistema permite realizar missões dinâmicas de "amostragem em grelha". Os alunos programarão o drone para executar padrões de voo autónomos a sotavento das chaminés das fábricas, a fim de registar a dispersão de partículas em suspensão (PM2.5) e compostos orgânicos voláteis (VOCs). Os dados registados (CSV) são depois visualizados através do Kepler.gl para criar mapas de calor volumétricos 3D, permitindo aos alunos avaliar cientificamente como a poluição se dispersa e afeta o ambiente escolar.



2. PÚBLICO-ALVO

☐ 15

☒ 16

☒ 17

☒ 18

☐ Mais de 18

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



Co-funded by
the European Union

3. **ÁREA DISCIPLINAR**

- ☐ Agricultura
- ☐ Resposta a catástrofes
- ☐ Construção
- ☐ Gestão da água
- ☒ Proteção ambiental
- ☒ Outro

4. **TIPO**

- ☐ Plano de aula
- ☒ Projeto

5. **DRONE UTILIZADO**

- ☒ Drone personalizado
- ☐ Drone comercial (DJI)

6. **DURAÇÃO**

- ☐ 1 aula x 45 minutos
- ☐ 1 x aula de 60 minutos
- ☐ 1 x bloco de 90 minutos
- ☐ 2 x aulas de 45 minutos

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

■ 2 x aulas de 60 minutos

□ Sessão dupla (2 × 60 minutos) e trabalho de casa opcional baseado em projeto.

7. OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

O1: Compreender a física da "dispersão de plumas" e como a direção do vento e a distância afetam a diluição dos poluentes (PM2.5/VOCs).

O2: Dominar a integração técnica de um registador de dados IoT autónomo (NodeMCU) numa plataforma de voo autónoma, garantindo a ausência total de interferências com os controlos de voo.

O3: Executar "missões em grelha" autónomas utilizando software de controlo em terra (Mission Planner/QGroundControl).

O4: Transformar dados de registo CSV em visualizações geoespaciais 3D interativas utilizando o **Kepler.gl** para identificar focos de poluição.

8. COMPETÊNCIAS-CHAVE DESENVOLVIDAS

1. Comunicação e Línguas

- Competência de literacia (compreensão e produção de textos escritos/orais)
- Comunicação em contextos profissionais
- Competência multilingue

2. Competências Matemáticas, Científicas, Técnicas e Profissionais

- Competência matemática
- Competência científica, tecnológica e de engenharia (STEM)
- Competência numérica aplicada às tarefas profissionais
- Interpretação de informação técnica (manuais, diagramas, normas)

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

- ☐ Competências profissionais/técnicas

- ☐ Execução de tarefas práticas

3. Competências Digitais

- Competência digital (literacia digital geral)

- ☐ Utilização de ferramentas digitais em contexto de trabalho

4. Competências Pessoais, Sociais e Profissionais

- ☐ Competência pessoal, social e de aprender a aprender

- ☐ Trabalho em equipa e colaboração

- ☐ Autonomia e responsabilidade

- ☐ Ética profissional e comportamento profissional

- ☐ Adaptabilidade e flexibilidade

- ☐ Cooperação com supervisores e colegas

5. Segurança, Qualidade e Sustentabilidade

- ☐ Aplicação das normas de saúde e segurança (OHS/SST)

- ☐ Procedimentos de qualidade e normas no local de trabalho

- Consciência ambiental e de sustentabilidade

6. Cidadania e Competência Cultural

- ☐ Competência de cidadania

- ☐ Competência de sensibilidade e expressão culturais

7. Criatividade, Resolução de Problemas e Empreendedorismo

- ☐ Resolução de problemas e pensamento crítico

- ☐ Competência de empreendedorismo

- ☐ Iniciativa e criatividade

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

- ☐ Tomada de decisões em situações reais de trabalho

8. Aprendizagem em Contexto de Trabalho e Integração no Local de Trabalho

- ☐ Integração nas rotinas do local de trabalho
- ☐ Cumprimento de instruções e procedimentos profissionais
- ☐ Utilização de ferramentas, equipamentos e tecnologia

Esta lista de verificação combina as Competências Essenciais da EU para a Aprendizagem ao Longo da Vida com as competências fundamentais esperadas no Ensino e Formação Profissional europeu (VET).

9. Conhecimentos prévios / Pré-requisitos

1. Sistemas embebidos e eletrónica

Isto envolve os conhecimentos de hardware necessários para integrar o NodeMCU com os sensores e a fonte de alimentação.

- **Protocolos de comunicação:**

- **I2C:** Compreender como ligar o **BME680** ao NodeMCU (pinos SDA/SCL).
- **UART (série):** Compreender a lógica da comunicação série para o módulo **GPS** e potencialmente, para o **sensor PM2.5** (linhas TX/RX).
- **SPI:** O **módulo do cartão** MicroSD utiliza normalmente o protocolo SPI; é essencial saber como efetuar as respetivas ligações.

- **Gestão da alimentação elétrica:**

- O sistema é alimentado por uma bateria **1S 950mAh separada**. É necessário compreender a regulação da tensão (conversão do intervalo de 3.7V–4.2V da bateria para os 3.3V ou 5V exigidos pelos sensores).
- *Nota crítica:* os sensores PM2.5 requerem frequentemente 5V para a ventoinha interna, enquanto o NodeMCU funciona com lógica de 3.3V. É necessário **compreender a conversão** de níveis lógicos para evitar danificar a placa.

2. Software e programação (firmware)

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

As competências de programação necessárias para recolher e registar dados de forma eficiente.

- **Linguagem Arduino/C++:** **sintaxe** básica para programar o NodeMCU.
- **Integração de bibliotecas:** proficiência na utilização de bibliotecas como Adafruit_BME680, TinyGPS++ e SD.h.
- **Temporização e programação assíncrona:**
 - Os dados de GPS chegam a uma frequência específica (por exemplo, 1Hz ou 10Hz). A utilização de `delay()` interrompe o código e provoca a perda de dados. É necessário compreender como **utilizar `millis()`** para executar código sem bloqueios, de modo a ler os sensores e escrever simultaneamente no cartão SD sem bloquear o processador.
- **Formatação de dados:** estruturação correta dos dados para o cartão SD, **especificamente** em formato CSV (por exemplo, Time,Lat,Lon,PM2.5,Temp,VOC).

3. Operações com drones e planeamento de voo

Conhecimentos necessários para realizar voos autónomos em segurança e recolher dados de forma eficaz.

- **Planeamento da missão:** compreender como definir pontos de **passagem** e criar **greijas de levantamento** (padrões de corte de relva) para missões autónomas.
- **Condições meteorológicas e segurança:** compreender como a direção e a velocidade do vento afetam a estabilidade do voo e o consumo da bateria.
- **Integração da carga útil:** montar a caixa de recolha de dados sem alterar o Centro de Gravidade (**CG**) do drone, o que é crucial para a estabilidade do voo.

4. Física ambiental e conhecimentos sobre sensores

Compreender a natureza dos dados recolhidos.

- **Comportamento dos sensores:**

- **BME680:**
necessita de um

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

período de "burn-in" (aquecedor ativo) para fornecer leituras precisas de gases (VOC).

- **PM2.5:** ter consciência do **"Prop Wash"** (turbulência do ar gerada pelas hélices do drone), que pode perturbar a entrada de ar e causar leituras errôneas.
- **Dispersão da pluma:** compreender a física do modo como os poluentes se deslocam (Advecção) e se espalham (Difusão), para interpretar corretamente os resultados do mapa.

5. Visualização de dados e GIS

Competências necessárias para transformar dados em bruto em informações úteis para a tomada de decisões.

- **Limpeza de dados:** processamento de ficheiros CSV em bruto (por exemplo, filtragem das coordenadas GPS "0,0" antes da aquisição do sinal dos satélites).
- **Proficiência em Kepler.gl:**
 - Compreender as **camadas** (Ponto, Hexbin, Mapa de calor).
 - Utilizar **filtros** (especificamente para animações baseadas no tempo).
 - Formatar corretamente as colunas de Latitude/Longitude para que a ferramenta as reconheça.

Resumo: esta secção afirma essencialmente: *"Para ter sucesso neste projeto, é necessário saber soldar/ligar componentes, escrever código sem bloqueios, pilotar um drone em segurança e compreender como o vento transporta a poluição."*

10. Estrutura da aula/projeto

Fase 1 – Introdução (Envolver e contextualizar)

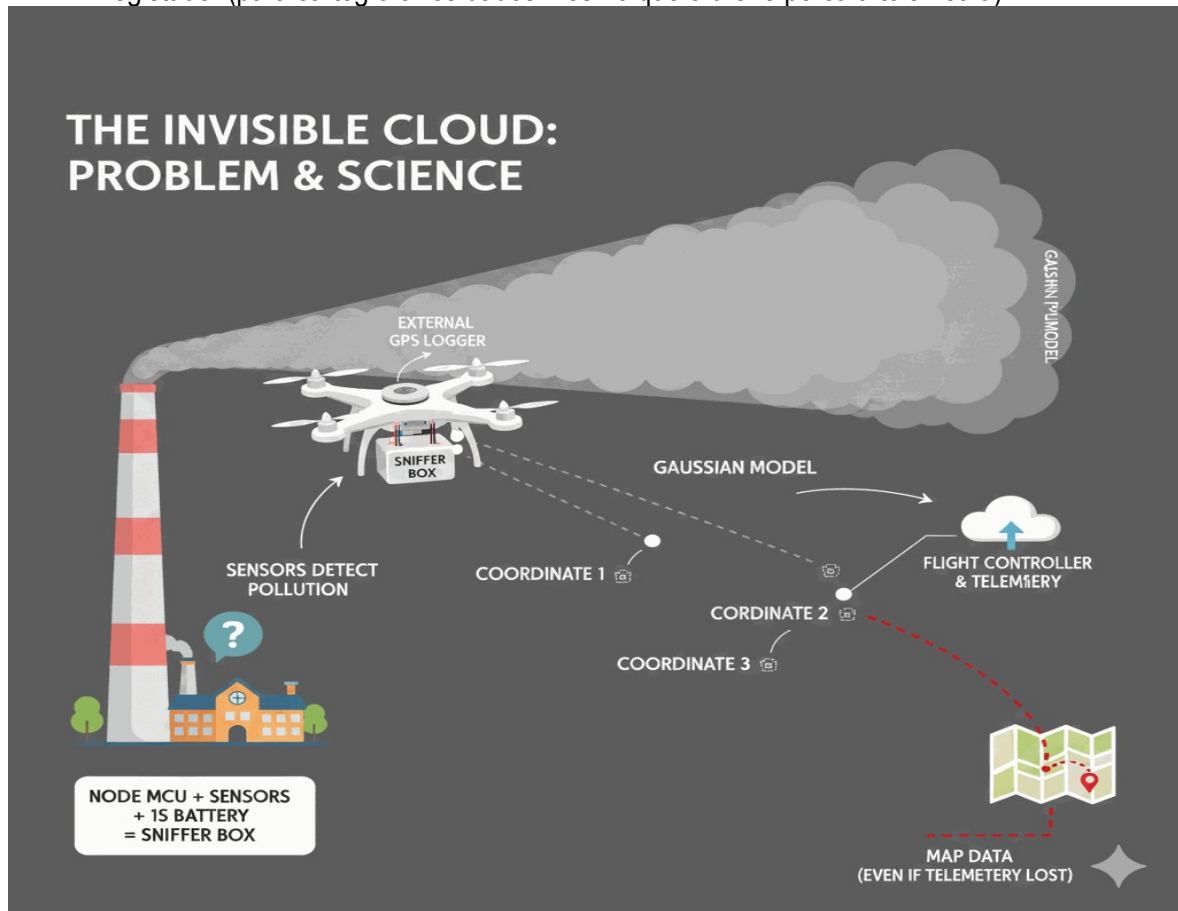
A sessão começa com o conceito de "A Nuvem Invisível".

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



Co-funded by
the European Union

- **O problema:** Conseguimos ver fumo à saída da chaminé, mas para onde vai? Chega à nossa escola?
- **A ciência:** Explicar o **Modelo Gaussiano de Pluma**. A poluição propaga-se em forma de cone. Para a captar, temos de voar através dela em diferentes coordenadas.
- **O equipamento:** Apresentar o Drone personalizado e a "Caixa Farejadora" (NodeMCU + Sensores + Bateria 1S). Explicar por que motivo utilizamos um GPS separado para o registador (para cartografar os dados mesmo que o drone perca a telemetria).



Fase 2 – Exploração (Investigar e comparar)

Teste de bancada: Os alunos ligam a Caixa Farejadora.

Verificar a aquisição de sinal GPS (LED azul intermitente).

Verificar a resposta do BME680 (Soprar sobre o sensor -> A resistência diminui).

Verificar a capacidade de escrita do cartão SD.

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



Co-funded by
the European Union



Planeamento da missão: Utilizando o Mission Planner, os alunos desenham um polígono sobre um campo seguro a jusante do vento em relação ao alvo.

Padrão: "Levantamento (Grelha)"

Altitude: 30 meters.

Velocidade: 3 m/s (Velocidade reduzida para uma melhor amostragem dos sensores).

Fase 3 – Aplicação (Prática)

Implementação: Ir para o campo.

Pré-voo: Ligar a Caixa Farejadora 2 minutos antes para a inicialização do GPS.

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



Co-funded by
the European Union



Voo: Armar o Drone personalizado. Descolar até aos 5m. Mudar para o **modo AUTO**.

- O drone executa autonomamente o padrão de grelha.
- O NodeMCU regista Lat, Lon, Alt, PM2.5, Gas_Ohm, Time a cada segundo.

Fase 4 – Reflexão e consolidação (Apresentar e relacionar)

Processamento de dados: Importar o CSV para o computador. Mudar o nome das colunas para maior clareza.

Visualização: Carregar para o Kepler.gl.

- **Visual 1:** Criar uma camada "Hexbin". Altura dos hexágonos = Concentração de PM2.5. Cor = Vermelho (Elevada) a Verde (Baixa).
- **Visual 2:** Adicionar um "Vetor de vento" (se os dados o permitirem) ou sobrepor no mapa de satélite.

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



Co-funded by
the European Union



Conclusão: "Com base no mapa, a pluma de poluição desloca-se para Nordeste. Hoje, o recinto escolar está seguro, mas o campo desportivo encontra-se na zona 'Laranja'."

11. Critérios de avaliação

A. Questionários com perguntas fechadas ou abertas (Avaliação cognitiva)

Objetivo: Verificar a compreensão teórica da física e da eletrónica.

- **Questionário 1: A física do ar (Escolha múltipla)**
 - Perguntas sobre a *inversão térmica* (Por que motivo está mais frio em baixo?), a *dispersão da pluma* (Como afeta o vento a poluição?) e a lógica do cálculo do ponto de orvalho.
- **Questionário 2: Resolução de problemas técnicos (Resposta aberta / Baseado em cenários)**
 - **Cenário:** "O NodeMCU está ligado, mas o ficheiro CSV está vazio. Indique 3 possíveis motivos."

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



Co-funded by
the European Union

(Respostas esperadas: TX/RX trocados, ausência de aquisição de sinal GPS, taxa de transmissão incorreta, formatação do cartão SD).

- **Cenário:** "O drone está a oscilar (a tremer) durante a missão de voo estacionário. Que configuração PID ou problema de hardware poderá ser a causa?"

- **Questionário 3: Literacia de dados**

- Dada uma linha de exemplo de um CSV em bruto (por exemplo, \$GPGGA,...), identificar que parte representa a latitude, a longitude e a altitude.

B. Ferramentas de autoavaliação (aprendizagem reflexiva)

Objetivo: Incentivar os alunos a acompanhar a sua própria curva de aprendizagem.

- **Diário de bordo do aluno (o "Diário de voo"):** Os alunos devem preencher uma ficha de reflexão pós-voo:
 - *Nível de confiança:* "Numa escala de 1-5, quão confiante me senti ao soldar o sensor?"
 - *O momento «Aha!»:* "Qual foi o maior obstáculo técnico que superei hoje?" (por exemplo, "Percebi que o GPS precisa de estar no exterior para obter sinal").
 - *Verificação de segurança:* "Segui rigorosamente a lista de verificação pré-voo? Caso contrário, o que me escapou?"

C. Protocolos de avaliação pelos pares (avaliação colaborativa)

Objetivo: Avaliar o trabalho em equipa, a comunicação e a cultura de segurança.

- **Grelha de avaliação de "Gestão de Recursos da Tripulação" (CRM):**
 - **Avaliação do piloto:** (Efetuada pelo responsável pelos dados) - "O piloto comunicou claramente antes de armar o drone? Avisou sobre as alterações de modo (Loiter para Auto)?"
 - **Avaliação do responsável pelos dados:** (Efetuada pelo piloto) - "O responsável confirmou que os sensores estavam a registar dados *antes* da descolagem, para poupar bateria?"
- **Revisão do código:** As equipas trocam entre si o seu código Arduino/NodeMCU.
 - "O código contém comentários/explicações?"
 - "Utilizaram a biblioteca correta para BME680?"

D. Portefólios e resultados práticos (avaliação sumativa)

Objetivo: Avaliar o produto final tangível e a qualidade dos dados.

- **1. Qualidade de construção da "Caixa Negra" (grelha de avaliação do hardware):**
 - **Excelente:** A cablagem está organizada, corretamente soldada e isolada com tubo termorretrátil. O posicionamento do sensor minimiza a interferência do fluxo de ar das hélices.
 - **Satisfatório:** A cablagem funciona, mas está desorganizada (foram utilizados fios de ligação em vez de soldadura). Risco de desconexão devido à vibração.
 - **Necessita de melhoria:** Ligações soltas, fios expostos, sensor bloqueado ou em contacto com a estrutura.
- **2. O plano da missão (trajetória de voo):**
 - **Aprovado:** Os pontos de passagem estão definidos a altitudes seguras, a grelha abrange a área-alvo e o RTL (regresso ao ponto de descolagem) está configurado.

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

- **Reprovado:** A trajetória cruza-se com obstáculos, a altitude é demasiado baixa para a segurança do GPS.
- **3. A visualização Kepler.gl (produto de dados):**
 - **Nível 3 (Avançado):** O mapa 3D está limpo (o ruído da descolagem/aterragem foi removido). A escala de cores (gradiente) representa de forma lógica os níveis de poluição/temperatura. É fornecida uma legenda detalhada.
 - **Nível 2 (Proficiente):** O mapa é gerado, mas inclui dados com "ruído" (por exemplo, picos súbitos durante o armamento).
 - **Nível 1 (Básico):** O CSV foi importado, mas o tipo de visualização (Arc/Point/Hexbin) é inadequado para o tipo de dados.
- **4. Relatório final (conclusão científica):**
 - Um resumo executivo de 1 página dirigido ao diretor da escola ou a um agricultor local.
 - *Deve incluir:* Uma captura de ecrã do mapa Kepler.gl, um gráfico que mostre a correlação (por exemplo, "À medida que a altitude aumentou, a temperatura aumentou 2°C") e uma recomendação específica.

12. Materiais didáticos

- 1- **Software:** Mission Planner, Kepler.gl, Excel, Arduino IDE.
- 2- FLIGHT Kit (componentes de drone personalizado) utilizado:
 - BME680 – Temperatura, humidade, pressão, COV
 - Sensor laser PM2.5 – Matéria particulada
 - Sensor de gás MQ7 – Detecção de CO
 - GUVVA-S12SD – Intensidade UV

13. Recursos externos

Recurso	Descrição e utilidade	Ligação
Guia do utilizador do Kepler.gl	A documentação oficial da ferramenta de análise geoespacial utilizada para visualizar os dados CSV em 3D (Hexbins/Arcs).	kepler.gl/docs

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

Índice Mundial da Qualidade do Ar (WAQI)	Mapa da poluição atmosférica em tempo real. Utilizado pelos alunos para comparar os dados locais recolhidos pelo drone com os dados oficiais das estações de toda a cidade.	waqi.info
Documentação do ArduPilot Mission Planner	Guia sobre como configurar missões "Auto Grid" e pontos de passagem para levantamentos autónomos.	ardupilot.org/planner
NOAA - Noções básicas sobre dispersão atmosférica	Um guia simplificado sobre a forma como os poluentes se dispersam na atmosfera (conceito do Modelo de Pluma Gaussiana).	noaa.gov (Pesquisa: Noções básicas sobre dispersão)
Ficha técnica do Plantower PMS5003/7003	Especificações técnicas do sensor PM2.5, que explicam como a dispersão da luz laser é utilizada para contar partículas.	[Fichas técnicas da Sparkfun/Adafruit]

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**

14. **Referências**

World Health Organization (WHO). (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.

- (Context: Used to define the safe limits of PM_{2.5} measured by the drone.)

Villa, T. F., Gonzalez, F., Miljevic, B., Ristovski, Z. D., & Morawska, L. (2016). *An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future perspectives*. *Sensors*, 16(7), 1072.

- (Context: Academic proof that using drones for air sampling is a valid scientific method.)

Uber Engineering. (2018). *Kepler.gl: A powerful open source geospatial analysis tool for large-scale data sets*. Retrieved from <https://kepler.gl/>

- (Context: Reference for the software used to visualize the 3D data.)

Plantower. (2016). *PMS5003 Series Data Sheet: Digital Universal Particle Concentration Sensor*. Plantower Co., Ltd.

- (Context: Technical specification for the laser scattering physics used in the project's sensor.)

United States Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). *Gaussian Plume Model Basics*. Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling (SCRAM).

- (Context: The theoretical physics model explaining how smoke spreads from a chimney.)

Este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta comunicação reflete apenas as opiniões do autor, não podendo a Comissão ser responsabilizada por qualquer utilização que possa ser feita das informações nela contidas.



**Co-funded by
the European Union**