



**Inspeção baseada em drones e análise de avarias de linhas de transmissão de energia
inacessíveis**

CENTRO DE RECURSOS FLIGHT

Administração de Água e Saneamento de Gaziantep - TURQUIA



Co-funded by
the European Union

Índice

1. INTRODUZIONE.....	2
2. DESTINATARI.....	2
3. SETTORE DI APPLICAZIONE.....	2
4. TIPO.....	2
5. DRONE UTILIZZATO.....	2
6. DURATA.....	3
7. OBIETTIVI DI APPRENDIMENTO.....	3
8. COMPETENZE CHIAVE SVILUPPATE.....	3
1. Comunicazione e lingue.....	3
2. Competenze matematiche, scientifiche, tecniche e professionali.....	3
3. Competenze digitali.....	3
4. Competenze personali, sociali e professionali.....	3
5. Sicurezza, qualità e sostenibilità.....	4
6. Cittadinanza e competenza culturale.....	4
7. Creatività, capacità di risoluzione dei problemi e spirito imprenditoriale.....	4
8. Apprendimento basato sul lavoro e integrazione nel mondo del lavoro.....	4
9. PREREQUISITI.....	4
10. SCHEMA DELLA LEZIONE.....	5
Fase 1 – Introduzione (Coinvolgimento e Contestualizzazione).....	5
Fase 2 – Esplorazione (Indagine e Confronto).....	6
Fase 3 – Applicazione (Esercitazioni pratiche).....	7
Fase 4 – Riflessione e Consolidamento (Presentazione).....	9
11. CRITERI DI VALUTAZIONE (Focus sulla salute delle linee di trasmissione energetica e delle infrastrutture).....	11
12. MATERIALI DIDATTICI.....	12



1. BREVE DESCRIÇÃO

Os alunos analisarão os riscos ambientais em torno das linhas de transmissão (ENH) em terrenos acidentados ou áreas onde o acesso físico é perigoso, utilizando o sensor BME680 e os dados térmicos para identificar os riscos de sobreaquecimento, humidade e corrosão.

2. PÚBLICO-ALVO

- ☐ 15
- ☐ 16
- ☒ 17
- ☐ 18
- ☐ Mais de 18 anos

3. ÁREA DISCIPLINAR

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

4. TIPO

- ☐ Plano de aula
- ☒ Projeto
- ☐ Atividade

5. DRONE UTILIZADO

- ☒ Drone personalizado
- ☐ Drone comercial (DJI)



6.DURAÇÃO

- ☐ 1 aula de 45 minutos
- ☐ 1 aula de 60 minutos
- ☐ 1 bloco de 90 minutos
- ☐ 2 aulas de 45 minutos
- ✓ 2 aulas de 60 minutos
- ☐ Sessão dupla (2 × 60 minutos) com trabalhos de casa facultativos baseados em projetos.

7.OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Utilizando o sensor BME680, os alunos monitorizarão indiretamente o aumento do aquecimento causado por arcos elétricos ou fugas nas linhas de energia através da temperatura ambiente.

Utilizando os dados dos sensores, os alunos calcularão o risco de descarga(flashover)nos isoladores causado por níveis elevados de humidade.

Os alunos observarão as condições físicas das linhas em áreas inacessíveis através da câmara do drone, analisando simultaneamente a relação altitude-tensão com recurso aos dados da pressão atmosférica.

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)
- ☐ Competências numéricas aplicadas às tarefas profissionais
- ☐ Interpretação de informações técnicas (manuais, diagramas, normas)
- ☐ Competências profissionais/técnicas
- ☐ Execução de tarefas práticas

3. Competências digitais

- ✓ Competência digital (literacia digital geral)
- ☐ Utilização de ferramentas digitais em contexto profissional

4. Competências pessoais, sociais e profissionais

- ✓ Competência pessoal, social e de aprendizagem



- ☐ Trabalho em equipa e colaboração
- ☐ Autonomia e responsabilidade
- ☐ Ética de trabalho e comportamento profissional
- ☐ Adaptabilidade e flexibilidade
- ✓ Colaboração com supervisores e colegas

5. Segurança, qualidade e sustentabilidade

- ☐ Aplicação das normas em matéria 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
- ☐ Consciência cultural e competência de expressão

7. Criatividade, resolução de problemas e espírito empreendedor

- ✓ Resolução de problemas e pensamento crítico
- ☐ Competência de empreendedorismo
- ☐ Iniciativa e criatividade
- ☐ Tomada de decisões em situações reais de trabalho

8. Aprendizagem em contexto de trabalho e integração no mundo laboral

- ☐ Integração nas rotinas de trabalho
- ☐ Cumprimento das instruções e dos procedimentos profissionais
- ✓ Utilização de ferramentas, equipamentos e tecnologias

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

Espera-se que os alunos adquiram conhecimentos básicos de Arduino/MicroPython e das normas fundamentais em matéria de saúde e segurança no trabalho.

No que diz respeito à utilização da tecnologia, os alunos devem estar familiarizados com os princípios fundamentais da segurança de voo dos drones, incluindo as verificações pré-voo, os procedimentos seguros de descolagem e aterragem, a gestão da bateria e a manutenção da linha de visão. Competências digitais básicas, como a utilização de um dispositivo móvel ou de um tablet para o controlo do voo e a revisão das imagens captadas, favorecerão uma participação eficaz na aula.



10. ESTRUTURA DA AULA/PROJETO

Fase 1 – Introdução (Envolver e contextualizar)

Fase 1: Riscos da transmissão de energia e fatores ambientais

Parte 1: *Riscos ambientais nas linhas de transmissão*

Esta secção centra-se nos impactos invisíveis de fatores como o calor extremo, a humidade e a pressão atmosférica nas infraestruturas energéticas:

- **Fatores de deformação física:** análise dos processos de expansão, cedência e deformação física nas linhas de transmissão causados pelo calor extremo e pelas variações da pressão atmosférica.
- **O impacto da humidade nas perdas de energia:** análise técnica do efeito da humidade elevada nos isoladores e das consequentes perdas de energia (como a formação de arcos) nas linhas elétricas.
- **Efeitos da pressão atmosférica: avaliação** do impacto das diferenças de pressão na tensão da linha e na durabilidade ambiental do ponto de vista da saúde e segurança no trabalho (OHS).

Parte 2: *Lógica operacional do BME680 para a monitorização ambiental*

Uma discussão técnica sobre a forma como o sensor BME680 torna "visíveis" estas ameaças ambientais para as linhas de transmissão

- **Lógica de medição multiparamétrica: explicação** da forma como o sensor converte os dados de humidade, temperatura e pressão provenientes do ambiente em sinais elétricos através da sua camada de óxido metálico.
- **Valores-limite para a segurança das infraestruturas:**
 - **TWA (média ponderada no tempo):** limites para a exposição ambiental a longo prazo.
 - **Limiares críticos:** níveis críticos de temperatura e humidade nos quais começa a perda de energia ou a deformação da linha.
 - **Sensibilidade cruzada nos dados ambientais:** análise da forma como os fatores ambientais se influenciam mutuamente e dos efeitos da sensibilidade cruzada na exatidão global dos dados.

Parte 3: *Introdução à calibração dos sensores*

Verificação dos sensores antes da implementação no terreno para garantir a recolha de dados fiáveis

- **Calibração de zero:** definição dos valores de base (temperatura e pressão de referência) num ambiente limpo e controlado.
- **Calibração da amplitude:** verificação da exatidão da medição utilizando valores ambientais de referência conhecidos.
- **Envenenamento do sensor ambiental: explicação** dos riscos de o sensor perder sensibilidade devido a poluição extrema ou exposição química.



Questões orientadoras / Discussão em sala de aula:

- Porque é que a "deformação física" causada pelo calor extremo e pela humidade nas linhas de transmissão representa um risco crítico para a continuidade energética?
- De que forma o processo de calibração do sensor realizado num ambiente controlado garante a fiabilidade dos dados ao detetar perdas de energia nas linhas de transmissão?
- Porque é obrigatório o drone pairar numa coordenada fixa durante 30 segundos para garantir o registo exato de parâmetros variáveis, como a humidade e o calor.

Fase 2 – Exploração (Investigar e comparar)**Fase 2: interação entre o sensor BME680 e o ambiente de alta tensão**

Descrição: Nesta fase, os alunos estudam o papel dos dados de pressão e temperatura do sensor no cálculo do estado técnico (densidade do ar, etc.) do corredor da linha de transmissão. Concentram-se nas “três grandes ameaças” à segurança das infraestruturas: perda de energia (risco de arco elétrico), deriva dos sensores e restrições de acesso físico.

Parte 1: Processo de calibração e verificação técnica

Esta secção aborda a "reposição a zero" e o ajuste da sensibilidade dos sensores antes da aproximação ao corredor de alta tensão:

- **Calibração de ar zero:** definição do sensor para os valores de base ao nível de entrada, a fim de estabelecer uma referência limpa para a temperatura e a pressão.
- **Ajuste da amplitude: testar** a resposta do sensor utilizando valores atmosféricos conhecidos para garantir que as leituras digitais correspondem às condições físicas reais do ambiente de alta tensão.
- **Análise da deriva do sensor: análise** da forma como os campos eletromagnéticos ou as variações bruscas de temperatura nas proximidades das linhas elétricas podem causar a "deriva" do sensor e da razão pela qual a verificação antes do voo é fundamental.

Parte 2: Caracterização vertical e observação dos dados

Os alunos analisam como os dados ambientais se traduzem em sinais técnicos do estado de conservação durante a aproximação gradual às linhas

- **Simulação da aproximação vertical:**
 - **Nível de entrada:** monitorização dos dados de referência relativos à densidade do ar e à pressão de base.
 - **Nível intermédio: observação** do aumento inicial da temperatura e das variações da densidade do ar à medida que o drone se aproxima do corredor de transmissão.
- **Zona de alta tensão (risco máximo): medição** dos dados no ponto mais próximo das linhas, onde o risco de perda de energia e de deformação física é mais elevado.
- **Cálculo da densidade do ar:** utilização dos dados de pressão e temperatura para calcular a densidade do ar e determinar o seu impacto na capacidade de isolamento do corredor.
- **Tempo de resposta (T90):** medição do tempo necessário para que o sensor estabilize em cada nível de elevação, a fim de garantir um registo exato dos dados.



Parte3: Riscos de uma calibração inadequada nos corredores técnicos

- **Perigo de leituras inexatas da densidade: análise** do risco de um sensor não conseguir detetar condições propícias à ocorrência de arcos elétricos por ter sido incorretamente reposto a zero ou ter perdido sensibilidade.
- **Falsos alarmes e segurança das infraestruturas: debate** sobre a forma como uma calibração deficiente pode causar "fadiga de alarmes", levando o pessoal a ignorar os sinais reais de deformação física ou perda de energia.

Questões orientadoras / Discussão em sala de aula:

- Porque pode existir um risco crítico de perda de energia ao nível de alta tensão, mesmo que os dados ambientais ao nível de entrada pareçam normais?
- De que forma a capacidade do BME680' para medir a pressão atmosférica melhora a fiabilidade da análise da "densidade do ar" nos corredores das linhas de transmissão?
- Que elevação (nível de entrada, intermédio ou de alta tensão) representa o maior desafio para a estabilidade dos drones e o registo exato dos dados?

Leitura breve / Infografia:

"Efeito Corona" e densidade do ar: um guia visual que mostra como a diminuição da densidade do ar aumenta o risco de arcos elétricos nas linhas de alta tensão e como os dados BME680 ajudam a prever este perigo.

Atividade de trabalho em grupo:

Pequenos grupos analisam os registos de voo verticais para identificar a altitude específica à qual a densidade do ar desce abaixo dos limiares críticos e determinar os protocolos de manutenção técnica necessários para essa secção da linha.

Fase 3 – Aplicação (Prática)**Fase 3: Voo de inspeção em terreno acidentado (aplicação no terreno e protocolos operacionais)**

Descrição: Esta fase diz respeito aos protocolos operacionais para realizar voos com drones ao longo de linhas de transmissão simuladas em terrenos acidentados, utilizando o sensor BME680 instalado. Os alunos analisarão o estado técnico da linha, recolhendo dados sobre anomalias de temperatura e níveis de humidade junto dos isoladores, para classificar as várias zonas de risco.

Parte 1: Preparação pré-voo e protocolos de segurança

Planeamento da missão em terrenos acidentados: mapeamento dos pontos específicos dos isoladores ao longo das linhas de transmissão em terrenos difíceis, onde são mais previsíveis anomalias de temperatura e acumulação de humidade.

- **Avaliação ambiental: avaliação** do impacto da velocidade do vento, da temperatura e da intensidade do sinal GPS —em particular nos vales ou nos terrenos profundos— na segurança do voo e na precisão dos sensores.
- **Preparação dos sensores e dos EPI:** verificar a montagem segura do sensor calibrado e garantir que os equipamentos de proteção individual (EPI) adequados aos ambientes de campo estão prontos.



Parte 2: Execução operacional e recolha de dados

- **Regra de voo estacionário de 30 segundos (registo de dados):** manutenção de uma posição estável em cada coordenada durante 30 segundos para estabilizar os dados microclimáticos (humidade e calor) junto dos isoladores e garantir que o sensor atinge o seu tempo de resposta completo (T_{90}).
- **Gestão da altitude ao longo das linhas de transmissão:** observação das flutuações dos níveis de humidade ao longo do perfil vertical das linhas de transmissão, a diferentes alturas relativamente ao terreno acidentado.
- **Registo sincronizado de dados: registo simultâneo** de coordenadas GPS com carimbo de data e hora e valores de temperatura e humidade, para manter a integridade espacial do conjunto de dados.

Parte 3: Classificação do risco e classificação de gestão das anomalias técnicas

- **Risco baixo/moderado: identificação** das áreas em que os valores de humidade ou temperatura junto dos isoladores se encontram dentro dos intervalos normais ou requerem uma monitorização padrão.
- **Risco elevado:** deteção de "zonas vermelhas" com anomalias críticas de temperatura que indicam arcos elétricos ou deformações físicas e que requerem uma intervenção administrativa ou manutenção imediata.
- **Protocolos de navegação e de emergência: garantir** a segurança do voo em torno das linhas de transmissão de energia e dos obstáculos físicos em terrenos acidentados e implementar protocolos de "regresso a casa" (RTH) em caso de perda do sinal GPS.



Fase 4 – Reflexão e consolidação (Apresentar e relacionar)

Fase 4: Previsão e comunicação de avarias (prioridade de manutenção-reparação)

Descrição: Esta fase prevê o tratamento de dados brutos de campo num ambiente digital para identificar os pontos "de alto risco" e a preparação de um "relatório sobre a prioridade de manutenção-reparação", para garantir a fiabilidade e a segurança da infraestrutura.

Parte 1: *Transferência de dados e conversão do formato*

- **Descarregamento de dados:** transferência de ficheiros com carimbo de data e hora em formato .csv ou .txt da memória interna do drone ou de um registador de dados especializado para um computador.
- **Limpeza dos dados:** filtragem do conjunto de dados para remover o ruído dos períodos de descolagem, aterragem e trânsito, concentrando-se exclusivamente nas janelas de "voo estacionário" de 30 segundos em cada coordenada designada.
- **Sincronização espacial:** garantir que cada leitura do sensor (anomalia de temperatura, humidade ou pontuação IAQ) é associada com precisão à coordenada GPS correspondente, para manter a integridade espacial.

Parte 2: *Análise dos dados e previsão de avarias*

- **Definição dos limiares críticos: integração** das normas de segurança industrial para as linhas de transmissão na folha de cálculo, para estabelecer os níveis de "Segurança", "Aviso" e "Perigo".
- **Identificação dos pontos de alto risco: determinação** matemática dos pontos suscetíveis a deformação física ou à formação de arcos, com base nas anomalias de temperatura medidas e nos níveis de humidade.
- **Análise estatística (média vs. pico):** cálculo dos valores médios para filtrar as flutuações temporárias, identificando simultaneamente os "valores de pico" para localizar com precisão potenciais pontos de avaria.

Parte 3: *Documentação da visualização e da manutenção*

- **Geração de mapas de risco:** criação de mapas de calor ou gráficos de distribuição sobrepostos à estrutura ou à disposição da linha, para fornecer uma representação visual da densidade dos fatores de risco.
- **Elaboração do "Relatório sobre as prioridades de manutenção e reparação":** preparação de um documento formal que classifique os pontos da infraestrutura com base nos níveis de risco, para orientar as ações de manutenção imediata ou programada.
- **Resultados do apoio à decisão:** finalização dos relatórios que identificam as "zonas vermelhas" para desencadear ações administrativas, como reparações de emergência, reforço da monitorização ou acesso limitado do pessoal.



Tempo (s)	Altitude (m)	Pressão (hPa)	Temperatura (°C)	Humidade (%)	Estado / Detecção
0	0 (Entrada)	915.8	24.5	60.2	Calibração do ar de referência
100	15 (Subida)	915.6	24.2	61.5	Voo estável
300	45(Nível dos isoladores)	916.4	38.2	82.4	CRÍTICO: Temperatura Diferença e aumento da humidade
580	25(Descida)	915.5	25.1	65.8	Análise da zona de oscilação da linha de transmissão
750	50 (Topo do poste)	916.5	36.5	78.2	AVISO: Elevado risco de arco elétrico
1000	0 (Aterragem)	915.9	24.8	62.1	Missão concluída – Modo RTH

Atividade de reflexão/Perguntas orientadoras:

- **Avaliação do risco ambiental:** o que aprendeste sobre o processo técnico de utilização da tecnologia dos drones para identificar de que modo fatores como o calor extremo e a pressão atmosférica causam deformações físicas nas linhas de transmissão de energia?
- **Processo de tomada de decisão operacional:** de que modo pilotar um drone com uma carga útil equipada com um sensor BME680 para monitorizar a densidade do ar e a temperatura nos corredores de alta tensão influenciou a tua abordagem à segurança do voo e à mitigação do risco?
- **A regra dos 30 segundos:** por que razão a regra do "voo estacionário" de 30 segundos é essencial para garantir a exatidão dos dados de humidade e temperatura recolhidos perto dos isoladores e de que modo isso afeta a fiabilidade das previsões de avarias?
- **Exatidão na previsão de avarias:** qual é o papel fundamental de um planeamento meticuloso e da calibração dos sensores na deteção bem-sucedida de anomalias técnicas que possam conduzir a perdas de energia ou a avarias nas infraestruturas?
- **Manutenção baseada em dados:** com base na vossa análise dos dados e no "Relatório sobre as prioridades de manutenção-reparação" que prepararam, de que modo os protocolos baseados em dados melhoram o processo de tomada de decisão e a gestão da segurança nos pontos de alto risco do corredor energético?



11. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO (Foco no estado das linhas de transmissão de energia e das infraestruturas)

Riscos da transmissão de energia e questionário sobre a tecnologia dos sensores: são aplicados questionários breves para avaliar os conhecimentos técnicos dos alunos sobre a deformação física e a perda de energia nas linhas de transmissão causadas por calor extremo, humidade e pressão atmosférica. As perguntas fechadas avaliam o modo como o sensor BME680 calcula o estado técnico utilizando dados de pressão e temperatura, enquanto as perguntas abertas exploram a importância crítica das inspeções com drones em terrenos acidentados.

Identificação de anomalias nas linhas de transmissão e de pontos de alto risco: os alunos são avaliados com base na sua capacidade de identificar anomalias de temperatura nas proximidades dos isoladores, níveis de humidade e desvios nos registos de dados. A avaliação inclui a análise de imagens simuladas da linha de transmissão e a marcação exata dos pontos "de alto risco" (áreas com potencial de avaria) nos conjuntos de dados Excel.

Autoavaliação para a previsão da inspeção e da manutenção das infraestruturas: os alunos preenchem listas de verificação de autoavaliação para avaliar a sua competência na utilização de drones em terrenos acidentados, a sua capacidade de interpretar os dados dos sensores e a sua confiança na análise dos fatores ambientais nos corredores energéticos. O processo de reflexão centra-se nos desafios técnicos e na utilização responsável da tecnologia dos drones para a segurança das infraestruturas.

Protocolos operacionais e revisão pelos pares: durante as atividades de grupo, os alunos avaliam a segurança dos planos de voo em terrenos acidentados, a exatidão dos dados de previsão de avarias e a coordenação técnica no seio da equipa através de protocolos de revisão pelos pares.

Portefólio "Prioridades de manutenção e reparação": cada grupo apresenta um portefólio que contém notas de medição da linha de transmissão, tabelas de dados do perfil vertical (Excel/GoogleSheets), mapas dos riscos assinalados e "Relatórios sobre as prioridades de manutenção-reparação".

Recolha de dados e documentação das imagens no terreno: a avaliação incide sobre o cumprimento, pelo drone, da regra de voo estacionário de 30 segundos perto dos isoladores, o alinhamento dos pontos de medição selecionados com áreas de alto risco e a capacidade dos dados visuais recolhidos para fundamentar as decisões de manutenção.



12. MATERIAIS DIDÁTICOS

1-

Recursos	Ligação
1. Manual_V4 do DJI Mini 4 Pro com telecomando DJI RC 2	https://docs.google.com/document/d/1fFIacOnKl3LNpETiJVgHhQkoenCvt5ct/edit?usp=drive_link&ouid=110204741178376447896&rtpof=true&sd=true
2.2.1.Introdução ao NodeMCU	https://docs.google.com/document/d/1kQgIg533Jtssm3LG2PeQFb5h1b1OKwSLQl-dx8GvcHM/edit?usp=drive_link
2.2.2.Módulos de deteção ambiental	https://docs.google.com/document/d/1TaEKu4fmXjR0nPVU_rB5BKxXWu_I-oj9cHaotPzbTBc/edit?usp=drive_link
2.2.3 Aquisição e registo de dados e operações de campo	https://docs.google.com/document/d/19S4BqSk_Rdi75qzwWkpkeVnbtte9otIEB-O9kfYv9Ww/edit?usp=drive_link

2- Kit FLIGHT utilizado (componentes do drone personalizado):

- BME680 – Temperatura, Humidade, Pressão, VOCs
- Sensor laser PM2.5 – Partículas em suspensão
- Sensor de gás MQ7 – Deteção de CO
- GUVVA-S12SD – Intensidade UV

