

## Cartão do Professor



# Estação Meteorológica Impressa – sensores impressos em papel

## Index

---

Index .....	1
Introdução Geral.....	2
Informação adicional .....	2
Quadro Europeu de Competências Chave .....	3
Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas .....	4
Conteúdos – Princípios teóricos .....	6
Procedimento Laboratorial/Atividade .....	7
Caminho de Aprendizagem .....	9
Avaliação.....	9
Descrição dos Cartões dos Alunos.....	10
Fontes.....	10

## Cartão do Professor

# Introdução Geral

---

A Comissão Europeia (CE) estabeleceu recentemente como prioridade o compromisso de enfrentar os desafios relacionados com o clima e o ambiente - *Green Deal*. Este define a nova estratégia de crescimento que visa transformar a União Europeia (UE) numa sociedade justa, sustentável e próspera, com uma economia moderna, eficiente em termos de recursos e competitiva. É imprescindível reinventar as tecnologias convencionais, nomeadamente as de alto impacto como as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e torná-las mais sustentáveis, uma vez que os pequenos dispositivos eletrónicos já dominam o lixo eletrónico gerado atualmente.

Neste contexto, esta é uma atividade laboratorial onde os alunos fabricam os seus próprios sensores impressos e realizam uma curva de calibração para que possam ser utilizados em contexto real. Ele dará uma ideia de como os sensores podem ser feitos e como geralmente uma variação física de temperatura, humidade relativa ou UV pode ser indiretamente determinada medindo a resistência elétrica ou variação de corrente. Dependendo do número de alunos, a turma pode ser dividida em vários grupos de três alunos ou pode ser realizada em pequenos grupos de dois a cinco para que todos possam imprimir pelo menos uma das camadas exigidas neste atividade.

**Palavras-chave:** *Sensor, Temperatura, Humidade, UV, impresso, celulose*

## Informação adicional

---

O lixo eletrónico, conhecido como e-waste, está a crescer a uma taxa elevada (3–4 %). Só em 2016, foram gerados 44,7 milhões de toneladas de lixo eletrónico em todo o mundo (Figura 1), o que equivale a 4.500 Torres Eiffel. Espera-se que esse valor chegue a 52,2 milhões de toneladas até 2021. Os materiais presentes no lixo eletrónico em 2016, como metais, cerâmicas, vidro e plásticos, têm um valor estimado de 55 bilhões de euros. Sabendo que apenas cerca de 15% é reciclado [1], é possível ter uma ideia do valor dos materiais que estão a ser desperdiçados e não recuperados. Assim, fica evidente que há uma urgência em encontrar soluções sustentáveis que possam ser implementadas em alguns dos sistemas eletrónicos no futuro, visando um equilíbrio entre bem-estar, meio ambiente, economia e aceitação pela sociedade [2]. A adoção de um modelo de Economia Circular permitirá o aumento do valor dos equipamentos elétricos e eletrónicos quando desperdiçados, inspirando o fecho do ciclo dessas novas matérias-primas por meio do reaproveitamento e reciclagem. Oportunidades de negócios podem ser criadas em torno desses materiais e, ao mesmo tempo, a mitigação da poluição ambiental [3]. A substituição de matérias-primas raras críticas em tecnologia moderna por alternativas estáveis, económicas, ambientalmente seguras e abundantes na terra é, portanto, um dos principais desafios que a humanidade enfrenta, sendo uma das prioridades do novo programa de trabalho Horizon Europe.

Parece claro que para cumprir os objetivos do *Green Deal* de transformar a União Europeia (UE) numa sociedade justa, sustentável e próspera, com uma economia moderna, eficiente em termos

## Cartão do Professor

de recursos e competitiva, o desenvolvimento de novas tecnologias emergentes, como aqueles que apoiam a nossa sociedade “digitalizada”, não podem concentrar-se apenas na relação desempenho/custo. Irá necessariamente considerar o impacto ambiental e a sustentabilidade da tecnologia, que inclui materiais, processos e fim de vida do produto. Ao conceptualizar uma economia circular, três princípios fundamentais devem ser considerados: (i) eco-design a partir de resíduos e poluição, (ii) manter produtos e materiais em uso, (iii) regenerar sistemas naturais. Assim, parece evidente que o futuro consistirá em tecnologias mistas e híbridas, o que representa uma mudança no paradigma atual das tecnologias dominantes como é o caso dos circuitos integrados de silício (CIs) e técnicas de produção relacionadas na indústria eletrónica. Embora os produtos eletrónicos se tornem cada vez mais eficientes em termos de energia quando em uso, não é o seu consumo de energia que cria um desequilíbrio de energia, mas a energia gasta na fase de produção e armazenada (incorporada) em seus constituintes internos (ou seja, microchips, processadores, etc).

Diante deste cenário, parece evidente que o mesmo acontecerá na indústria eletrónica a serviço das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). Os níveis de alto desempenho continuarão a ser satisfeitos por CIs de silício e outros semicondutores cristalinos. Ao mesmo tempo, alguns novos dispositivos e sistemas no futuro, sem a necessidade de tão alto desempenho, serão cobertos por tecnologias híbridas e processos de baixo custo. Isso será de particular interesse para dispositivos que são usados por curtos períodos e com baixo valor agregado, como biossensores, embalagens inteligentes, wearables, todos eles atendendo às demandas do conceito de *Internet of Things* (IoT). Enquanto a ARM previu que em 2035 um trilhão de dispositivos IoT seriam conectados à Internet, a associação do Sistema Global para Comunicações Móveis definiu uma nova estimativa mais baixa para 25 bilhões em 2025. Em qualquer caso, esses números superam consideravelmente o número atual de dispositivos IoT conectados, estimado em 7 bilhões, o que confirma o progresso mais lento do que o esperado da tecnologia necessária para a sua implantação. Vários motivos podem explicar isto, mas com certeza as soluções para os alimentar, a escassez de materiais e a gestão de lixo eletrónico gerado por bilhões de dispositivos, são alguns dos aspetos mais desafiadores para alcançar a visão futura da IoT.

## Quadro Europeu de Competências Chave

<b>Competência de alfabetização</b>
S4. Capacidade de interagir de forma apropriada e criativa em qualquer situação.
<b>Competências Multilíngues</b>
S4. Capacidade de interagir de forma apropriada e criativa em qualquer situação.
S7. Capacidade de utilização de linguagem técnica de acordo com a área de trabalho.
<b>Competência matemática e competência em ciência, tecnologia e engenharia</b>

## Cartão do Professor

S1. Capacidade de usar pensamento construtivo para resolver um problema em todas as situações.
S2. Compreensão de termos e conceitos matemáticos e saber como os aplicar.
S3. Capacidade de criar modelos matemáticos de uma situação do mundo real e de transferir conhecimento matemático para contextos não-matemáticos.
S4. Prontidão para enfrentar novos problemas de novas áreas.
S5. Capacidade de pensamento quantitativo.
S6. Capacidade de extrair informações qualitativas de dados quantitativos
S8. Capacidade de desenhar estudos experimentais e observacionais e de analisar a informação resultante.
<b>Competência Digital</b>
S2. Competências básicas em TIC.
S3. Compreender o papel, oportunidade e riscos relacionados com as TIC no quotidiano.
S4. Capacidade para usar e manusear ferramentas tecnológicas e máquinas.
<b>Competência pessoal, social e de aprender a aprender</b>
S3. Capacidade de ganhar processos e assimilar novos conhecimentos, habilidades e qualificação necessários para objetivos de carreira.
<b>Competências para a cidadania</b>
S3. Capacidade de trabalhar de forma eficaz e colaborar com outros membros da equipa
<b>Consciência cultural e competência de expressão</b>
S3. Capacidade de planear e organizar tarefas.

## Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são o modelo para alcançar um futuro melhor e mais sustentável para todos. Eles abordam os desafios globais que enfrentamos, incluindo aqueles relacionados à pobreza, desigualdade, mudança climática, degradação ambiental, paz e justiça.

## Cartão do Professor

	  Enable access to basic services		 Equal access to global expertise
	 Safe medical devices		 Sustainable urbanization
	 Access to education		 Responsible consumption and production
	 Less hardship, more opportunities		 Strengthen resilience, reduce disaster impact
	 Safe and affordable water		 Reduce marine pollution
	 Energy – the golden thread		 Sustainable use of terrestrial ecosystems
	 Safety of workers and economic growth		 Promote peaceful and inclusive societies
	 Resilient infrastructure and sustainable industrialization		 Better access to technology and innovation

## Cartão do Professor

# Conteúdos – Princípios teóricos

Nesta atividade os alunos vão poder aprender o princípio básico da transdução atrás dos sensores de temperatura resistiva, humidade relativa e UV. Todos os sensores foram preparados utilizando tecnologias de impressão convencionais e substratos flexíveis como papel e folha Kapton e tintas funcionalizadas. Padrões de prata condutores foram usados para criar um sensor de temperatura, uma vez que a resistência elétrica responde a variações de temperatura. Um filme especial sensível à humidade foi especialmente concebido através da utilização de uma tinta formulada a partir da celulose como agente ligante de fibras de carbono partidas para criar um filme que responda a variações de humidade inchando e promovendo/cancelando caminhos de percolação e alterar a sua resistência elétrica. Uma tinta à base nano-partículas e sensível aos raios ultravioleta (UV) foi formulada usando a celulose como agente ligante de nano-partículas de óxido de zinco (ZnO) para criar um filme onde a resistência elétrica diminui quando exposto a radiação UV devido a um fenómeno superficial de foto-geração de pares eletrão-lacuna.

O sensor de temperatura impresso consiste numa camada sensível feita de prata e o princípio de operação é baseado no característico aumento de resistência elétrica com a temperatura em metais. Isto é chamado o coeficiente positivo de temperatura (PTC), e pode ser calculado utilizando a seguinte expressão:

$$\alpha = \frac{\Delta R/R_0}{\Delta T}$$

Onde  $\Delta R$  é a variação da resistência,  $R_0$  a resistência inicial e  $\Delta T$  a variação da temperatura.

O princípio de funcionamento do sensor de humidade relativa impresso é baseado na absorção de humidade pelo derivado da celulose higroscópico presente na camada sensível (a carboximetilcelulose, CMC). A camada sensível, neste caso, trata-se de uma mistura de CMC e fibras de carbono partidas aleatoriamente misturadas na matriz celulósica com o objetivo de promover alguns percursos com condutividade elétrica sempre que pontos de contacto entre as fibras são estabelecidos (caminhos de percolação). Enquanto esta matriz incha devido à absorção de humidade da atmosfera, os pontos de percolação diminuem porque a matriz de CMC expande, afastando as fibras, o que se traduz num aumento da resistência elétrica. O oposto acontece quando a humidade relativa diminui.

Por fim, o sensor de UV impresso é baseado no efeito fotoelétrico interno em que um par eletrão-lacuna é criado devido à excitação de um eletrão da camada de valência da banda condutor, fornecida pela absorção de um fóton por um semiconductor. Neste caso, a camada sensível é feita de nano-partículas de óxido de zinco (ZnO) que têm uma banda proibida acima dos 3 eV, que é, a região ultravioleta do espectro eletromagnético. Fornecendo um campo elétrico, o movimento das cargas livres começa e cria uma corrente no detetor. A fotossensibilidade ( $p_s$ ) do sensor pode ser calculada usando a seguinte expressão:

## Cartão do Professor

$$p_s = \frac{I_{ON}}{I_{OFF}}$$

onde  $I_{ON}$  é a corrente sob irradiação UV e  $I_{OFF}$  a corrente no escuro.

## Procedimento Laboratorial/Atividade

Nesta atividade, os alunos vão aprender o princípio da transdução da resistência elétrica enquanto usam sensores de temperatura, humidade relativa, e UV impressos em substratos flexíveis, incluindo o papel.

### Sensor de Temperatura

Para observar a resposta do sensor a variações de temperatura, começa por identificar os terminais corretos do multímetro e os elétrodos do sensor, observando a Figura 1 e a Figura 2. É irrelevante se ligas as pontas vermelhas ou preta na ordem indicada na Figura 2.

- Começa por ligar as sondas do multímetro nos terminais do sensor para o modo de medição de resistência.
- Mede e regista o valor de resistência do sensor de temperatura impresso. Usa o termómetro comercial/de laboratório para registar a temperatura ambiente.
- Põe o sensor de temperatura do lado de fora do contentor metálico. Podes usar fita-cola para o fixar deixando as camadas impressas viradas para ti.
- Lê e regista a resistência do sensor de temperatura usando o multímetro. Usa o termómetro comercial para medir a temperatura na superfície do sensor. (Tem cuidado para não danificar a camada impressa)
- Usa a chaleira elétrica para ferver água suficiente para encher o contentor. Certifica-te que tens água suficiente para atingir um nível que permita aquecer as paredes laterais.
- Espera alguns minutos para permitir que a temperatura da parede lateral estabilize.
- Lê e regista a resistência no sensor de temperatura usando o multímetro. Usa o termómetro comercial para medir a temperatura da superfície do sensor. (Tem cuidado para não danificar a camada impressa)
- Descarta a água quente e agora usa cubos de gelo e água suficiente para que a temperatura seja a mais próxima possível de zero graus celsius.

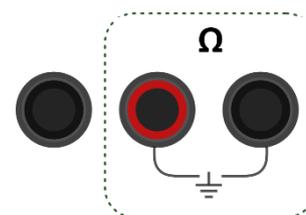


Figure 1

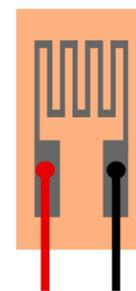


Figure 2

## Cartão do Professor

- *Como antes, espera alguns minutos para que a temperatura estabilize antes de ler e registar a resistência no sensor de temperatura.*

### Sensor de Humidade

*Nesta atividade troca as sondas do multímetro usadas anteriormente pelos terminais em crocodilo. Os sensores estão dentro de sacos fechados para manter a humidade próxima de zero portanto certifica-te que apenas abres os sacos quando estiveres pronto para medir e registar a sua resistência inicial. Alternativamente, coloca os sensores numa sala onde há um baixo nível de humidade relativa pelo menos durante algumas horas antes de realizares esta experiência.*

- *Utilizando fita-cola, fixa o sensor de humidade ao pedaço de vidro, ou ao cartão de crédito (qualquer objeto rígido e fino vai servir) como se mostra figura 3. Isto vai ajudar a manusear o sensor com os terminais em crocodilo agarrados.*
- *Coloca os terminais em crocodilo no sensor e certifica-te que há uma boa ligação elétrica.*
- *Mede e regista rapidamente a resistência, uma vez que o sensor vai absorver rapidamente qualquer humidade presente na sala e o valor de resistência vai variar de acordo com essa variação.*
- *Prepara alguma água a ferver com vapor usando a chaleira e coloca o sensor virado para o vapor alguns minutos e monitoriza e regista o valor da resistência no multímetro.*
- *Podes registar a variação da resistência elétrica por um período de tempo regular (intervalos de 5 segundos, por exemplo) ou esperar só que o valor eventualmente estabilize.*

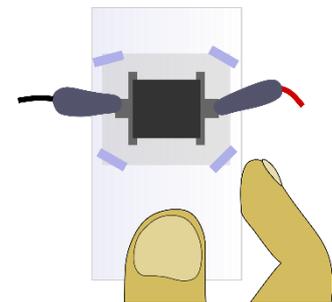


Figure 3

### Sensor de UV

*Para observar a resposta do sensor a diferentes variações /intensidades UV, começa por mais uma vez identificar os terminais corretos do multímetro e dos eléctrodos do sensor, observando as Figura 1 e 2.*

- *Utilizando fita-cola, fixa o sensor de UV ao pedaço de vidro, ou ao cartão de crédito (qualquer objeto rígido e fino vai servir) como se mostra figura 4. Isto vai ajudar a manusear o sensor com os terminais em crocodilo agarrados.*
- *Coloca os terminais em crocodilo no sensor e certifica-te que há uma boa ligação elétrica.*
- *Mede e regista os valores de resistência com a lâmpada UV desligada (OFF) e depois ligada (ON). Repete o processo por alguns ciclos ON/OFF (entre 3 e 5), com um intervalo de tempo fixo, se possível, de cerca de 20/30 segundos registando os valores medidos de resistência.*

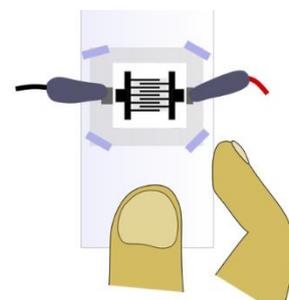


Figure 4

## Cartão do Professor

- *Usa uma lâmina de vidro ou uma régua de plástico para diminuir a distância entre o sensor de UV e a fonte luminosa e mede usando o mesmo procedimento, diminuindo de cada vez a distância entre o sensor e a fonte de luz UV\*.*

*\*A luz UV pode ser controlável ou um pequeno circuito feito com um pack de pilhas de 6V em série com os resistors e o LED UV. Por favor assegura-te que ligas o LED UV com a polaridade correta. Pela alteração dos resistors vais mudar a corrente nos circuitos, portanto, a intensidade luminosa. Neste caso não é necessário variar a distância à fonte luminosa.*

## Caminho de Aprendizagem

---

*Etapa 1 - Tempo e atividade: 15 minutos: Os professores fazem uma breve introdução com uma apresentação em PowerPoint preparada.*

*Etapa 2 - Tempo e Atividade: 10 minutos: Os alunos são divididos em grupos (preferencialmente o número de alunos num grupo é de 3-4). Os alunos familiarizam-se com o material de laboratório.*

*Etapa 3 - Tempo e Atividade: 30 minutos: Cada grupo caracteriza um dos sensores como descrito na secção anterior.*

*Etapa 4 - Tempo e atividade: 45 minutos: Cada grupo faz o tratamento dos dados e apresenta-os aos restantes grupos.*

*Etapa 5 - Tempo e atividade: 20 minutos: Discussão geral.*

## Avaliação

---



A avaliação vai consistir na preparação de uma apresentação em PowerPoint descrevendo o procedimento experimental, principais resultados, dados recolhidos e discussão. O professor deve fazer uma primeira avaliação. Opiniões de outros alunos acerca das apresentações feitas por cada grupo também devem ser consideradas. O comportamento dos alunos durante o trabalho laboratorial também deve ser avaliado. Uma sugestão do peso de cada avaliação pode ser: interesse e comportamento do aluno durante o trabalho, 30 %

## Cartão do Professor

(avaliado pelo professor), apresentação e recolha e tratamento dos dados, 40 %  
(avaliado pelo professor), avaliação feita pelos outros alunos, 30 %.

## Descrição dos Cartões dos Alunos

---

**Cartão do Aluno 1 – Estação Meteorológica impressa – sensores impressos em papel**

## Fontes

---

- [1] V. Sahajwalla, V. Gaikwad, The present and future of e-waste plastics recycling, *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 13 (2018) 102–107. doi:10.1016/j.cogsc.2018.06.006.
- [2] M. Irimia-Vladu, “Green” electronics: biodegradable and biocompatible materials and devices for sustainable future, *Chem. Soc. Rev.* 43 (2014) 588–610. doi:10.1039/C3CS60235D.
- [3] C.P. Balde, V. Forti, V. Gray, R. Kuehr, P. Stegmann, *The Global E-waste Monitor 2017*, 2017. doi:10.1016/j.proci.2014.05.148.