

Controlo e Simulação de um Sistema Fotovoltaico a Instalar no Edifício G do ISEP

Marta Santos¹, José M. Magalhães², Edvaldo Tavares¹, Thierry Ramos¹ e Alberto Peixoto Pinto²

¹ Alunos do Instituto Superior de Engenharia, Politécnico do Porto, Porto, Portugal
1222191@isep.ipp.pt, 1231639@isep.ipp.pt, 1231640@isep.ipp.pt

² Professores do Instituto Superior de Engenharia, Politécnico do Porto, Porto, Portugal,
jdm@isep.ipp.pt, apo@isep.ipp.pt

Resumo. O presente artigo descreve o desenvolvimento e simulação de um sistema de produção de energia fotovoltaica e gestão de iluminação do edifício G do ISEP, no âmbito da Licenciatura de Engenharia de Sistemas Elétricos de Energia. A metodologia adotada, fundamentada em Project-Based Learning (PBL), integrou a modelação matemática da trajetória solar com recurso ao GeoGebra, a modelação 3D do sistema em Tinkercad e a prototipagem eletrónica na plataforma Arduino. Foi projetado um sistema de rastreamento solar (solar tracker) controlado por microcontrolador, visando a otimização da captação energética, paralelamente a um sistema de iluminação automatizado baseado em sensores de luminosidade e movimento. As simulações em ambiente virtual (Tinkercad) e a validação experimental através de um protótipo físico demonstraram a funcionalidade dos algoritmos de controlo propostos. Os resultados indicam viabilidade técnica e a sua análise identifica a necessidade de dados de consumo mais detalhados do edifício G para um dimensionamento energético de melhor precisão e análise económica rigorosa.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos; Seguidor Solar; Automação e Controlo; Prototipagem Eletrónica; Arduino.

1 ENQUADRAMENTO e OBJETIVOS

Atualmente existe uma necessidade cada vez maior da utilização da eletricidade e com este aumento existe também uma crescente preocupação com os problemas ambientais devido ao uso excessivo de combustíveis fósseis e não renováveis.

No âmbito das unidades curriculares de Laboratórios de Matemática I (LMAT1) e Métodos de Engenharia (MTENG), do 1º ano do curso de Engenharia de Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia do ISEP, ano letivo 2023/24, propôs-se aos alunos a realização de um estudo e apresentação de propostas de implementação e simulação na plataforma Arduino de um sistema de produção energética fotovoltaico e de controlo de iluminação para o Edifício G do ISEP para melhoria da sua eficiência energética.

Com esse objetivo foi necessário procurar soluções que diminuam ou que atenuam os problemas ambientais. Apresentam-se duas soluções, uma para a utilização de sistemas de produção de energia fotovoltaica em edifícios para autoconsumo e outra para uma aplicação de iluminação mais eficiente, com troca para lâmpadas com menos consumo energético e usando luminárias inteligentes e de controlo automatizado.

Sustentadas nas metodologias PBL (Problem-based Learning) [1] [2] e PJBL (Project-based Learning) [3], com este projeto obtiveram-se conhecimentos de como implementar e simular um sistema de produção energética fotovoltaico, formas de controlo de iluminação e realizou-se a construção de um protótipo que representava proposta de solução para o Edifício G do ISEP. Neste âmbito, como não existem dados dos consumos energéticos do Edifício G, e como o Edifício H é semelhante em estrutura e em consumos, utilizaram-se os dados relativos ao consumo energético do Edifício H e assumindo como sendo do Edifício G. As simulações foram realizadas na aplicação Tinkercad e a construção do protótipo do sistema produção energética fotovoltaico e de controlo de iluminação a implementar teve como recurso a plataforma Arduino.

2 Referencial Teórico

A crescente procura energética mundial, conjugada com a urgência de mitigar as alterações climáticas, tem impulsionado a transição para fontes de energia renovável, destacando-se a energia solar fotovoltaica como uma das tecnologias mais promissoras do século XXI [4]. Nos últimos anos, os custos associados à produção de energia dos sistemas fotovoltaicos registaram uma redução de aproximadamente 89% entre 2010 e 2021, tornando esta tecnologia competitiva ou até mais económica do que as fontes mais convencionais baseadas em combustíveis fósseis em muitas regiões do globo. Esta competitividade económica, conjugada com benefícios ambientais significativos (emissões zero de gases) posiciona a energia solar fotovoltaica como elemento fundamental na descarbonização do setor energético global [4].

Para se poder gerar energia solar fotovoltaica é essencial a utilização de painéis fotovoltaicos. Estes painéis são compostos por células fotovoltaicas e constituídas por materiais semicondutores, por exemplo o silício, que absorvem a luz solar e geram energia elétrica (efeito fotovoltaico) [5], como se ilustra na Fig. 1.

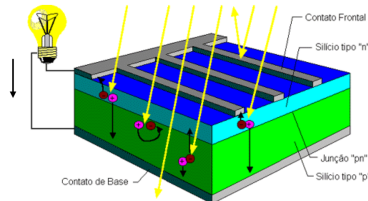


Fig. 1. Conversão de radiação solar em eletricidade.

De acordo com a literatura [6], existem vários tipos de células, silício, silício amorfo (sem forma), micromorfos e híbridas, no entanto neste trabalho vamos nos focar nas células de silício cristalino. Estas podem ser monocristalinas ou policristalinas. Os painéis monocristalinos apresentam eficiências entre os 16% e os 19% e é normalmente

aplicada em média e elevada potência, mas tem um custo elevado de produção. Os painéis policristalinos têm um custo inferior de produção, mas têm uma eficiência também inferior variando entre os 13% e os 16%. (Fig. 2)

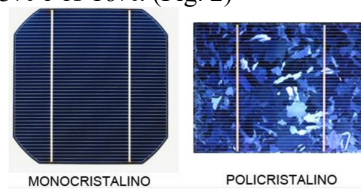


Fig. 2. Aspeto de células monocristalinas e policristalinas.

Segundo estudos [7], o autoconsumo é uma das formas de aplicar a energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos. Através de um sistema de autoconsumo fotovoltaico (Fig. 3) consegue-se utilizar parte da energia produzida diretamente nos equipamentos que necessitam de energia, carregar baterias para consumo posterior, injetar na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP) ou vender o excedente celebrando um contrato com o comercializador de energia.

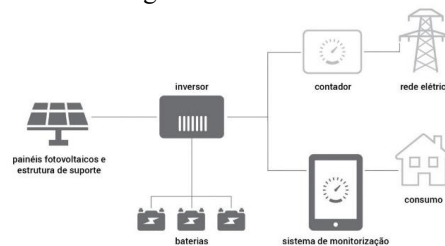


Fig. 3. Esquema de sistema de autoconsumo fotovoltaico [8].

3 METODOLOGIA e MATERIAIS

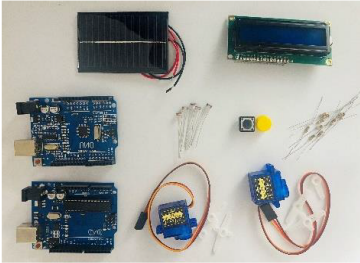
Para a concretização deste projeto, este grupo de estudantes aplicou diversas metodologias, iniciando pela pesquisa na Web de literatura sobre teorias e aplicações da energia fotovoltaica, bem como contacto com empresas em Portugal que fornecessem painéis fotovoltaicos. Posteriormente, foi feito um contacto com os serviços de manutenção do ISEP no sentido de conhecer os consumos enérgicos do edifício G e, consequentemente, é apresentada uma proposta de um sistema real de autoprodução de energia elétrica para edifício G com instalação de painéis fotovoltaicos e sugestões gerais sobre uma melhor gestão energética do edifício, em particular, a sua iluminação elétrica. Através da aplicação Tinkercad, plataforma online de modelação 3D e simulação de circuitos eletrónicos, realizou-se uma modulação 3D do Edifício G do ISEP com inclusão dos painéis fotovoltaicos e foram realizadas simulações de um circuito para o seguidor solar e de um sistema de controlo de iluminação do edifício de forma a melhorar a sua eficiência energética. Após estas simulações em software, foram executados os protótipos físicos representativos do controlo e monitorização de todo o sistema de autoprodução e gestão energética do edifício G. Para o seu controlo e programação foi

usada a plataforma Arduino por ser um sistema aberto (hardware e software) de prototipagem eletrônica e de baixo custo [9]. Esta plataforma utiliza uma linguagem de programação em código baseada em C++. Para a resolução da Tarefa 2 - simulação do movimento de rotação dos painéis fotovoltaicos formando um plano perpendicular com a direção da posição do sol - e do problema colocado na Tarefa 4 – aplicação de métodos numéricos para determinação da direção da posição do sol ao longo do dia em relação aos painéis fotovoltaicos - foi utilizada a aplicação GeoGebra. Esta aplicação consiste num software de matemática dinâmica e que combina os conceitos de geometria e álgebra.

Para realizar o protótipo foram utilizados os materiais referidos nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Materiais utilizados no protótipo do Seguidor Solar.

Seguidor Solar		
Nome	Un.	Descrição
Motor Servo	2	Motor servo de 4.8V 180°
Arduino Uno R3	2	Microcontrolador
Sensor LDR	5	Foto resistência
Resistências	10	Resistências de 220Ω, 2.2kΩ, 1.5kΩ, 100Ω e 10kΩ
Painel Solar	1	Painel Solar de 0.5V
LCD	1	LCD 16x2
Botão	1	Botão 4 pinos



De acordo com estudos [10], atualmente a iluminação artificial tem uma grande fatia do consumo de energia, desta forma é necessário o controlo desta iluminação para redução desses mesmos custos. Das várias formas de controlar a iluminação em edifícios, este projeto terá o foco na luminosidade ambiente, fazendo a verificação através de sensores de presença ou ausência de luz exterior para acender ou apagar lâmpadas e em sensores de movimento de pessoas que só acendem a luz quando se deteta movimento. Para isso, usou-se o conjunto de materiais que constam na lista na tabela 2.

Tabela 2. Materiais utilizados no protótipo do controlo de iluminação.

Controlo Iluminação		
Nome	Un.	Descrição
Arduino Uno R3	1	Microcontrolador
Pilhas	2	Baterias AA, 1.5V
Suporte de pilhas	1	Suporte de pilhas 2xAA
Relé	1	Relé de 5V
Lâmpada	1	Lâmpada LED
Casquilho Lâmpada	1	Casquilho para Lâmpada
Sensor movimento	1	Módulo PIR HC-SR501
Resistência	1	Resistência 1kΩ



As escolhas das plataformas de modulação e simulação eletrónica - Tinkercad e Arduino - de cálculo e simulação matemática – GeoGebra - para a realização deste trabalho devem-se ao facto de serem abertas, gratuitas e de livre acesso a todos utilizadores e de serem as estudadas na unidade curricular de Laboratórios de Matemática I.

4 Resultados e Discussão

Atendendo aos objetivos do seminário onde se apresenta esta comunicação, far-se-á de seguida uma breve referência aos resultados gerais da tarefa 1 e que consistiu na elaboração da proposta de um sistema real de autoprodução de energia fotovoltaica para edifício G do ISEP e posteriormente uma análise sobre os resultados obtidos na tarefa 5, que consistiu na construção da maquete/protótipo do sistema fotovoltaico e à sua programação do controlo e monitorização incluindo o sistema de iluminação do edifício.

Resultados e análise de resultados da tarefa 1 e 5

Analisando os consumos energéticos fornecido pelos serviços de manutenção do ISEP para o Edifício G, consumo anual do edifício, 84.542,301 kWh, verifica-se que existe uma necessidade energética diária aproximadamente de 234 kWh. Como tal, sugere-se recorrer a um sistema de autoconsumo com recurso a baterias e usar painéis fotovoltaico de marca Aiko Solar monocristalino de potência 0,610 kWp (kW-pico) por painel. Atendendo ao consumo diário do edifício G, seriam necessários aproximadamente 380 painéis solares de capacidade 610 Wp para satisfazer a sua necessidade energética e que daria a capacidade total instalada,

$$\text{Capacidade da totalidade dos painéis} = 0,610 \times 380 = 230,80 \text{ kWp}$$

O próximo passo foi verificar se existia área suficiente no telhado do edifício para poderem ser instalados os 380 painéis solares. Através da aplicação Google Earth, apurou-se que a área bruta do telhado do edifício G que é aproximadamente 1134,41 m². Sendo as medidas, em mm, de um painel fotovoltaico de marca Aiko Solar 2278 x 1134 x 35, juntando o espaço necessário para a fixação dos suportes, cerca de 2 cm, calculando a área necessária por painel,

$$\text{Área painel fixado} = b \times h = 2,298 \times 1,154 = 2,65 \text{ m}^2$$

O que seria necessário para todos os 380 painéis uma área de telhado,

$$\text{Área totalidade painéis} = n^\circ \text{ de painéis} \times \text{área de 1 painel} = 380 \times 2,65 = 1007 \text{ m}^2$$

Embora a área bruta do telhado seja suficiente para a instalação da totalidade dos painéis, mas uma vez que existem obstáculos e tendo em conta que deverá existir espaço para efeitos de manutenção, conclui-se que não será possível instalar a totalidade desses painéis. Neste sentido, considerando satisfazer cerca de 75% das necessidades diárias

do edifício ($175,5 \text{ kWh}$) e uma área útil de máxima de 800 m^2 . Pelos mesmos cálculos anteriores, verifica-se a necessidade 288 painéis, ocupando uma área total de $763,20 \text{ m}^2$. Solução estas que se acha adequada e que ocuparia menos espaço de telhado. A alteração e controlo de iluminação irá permitir a redução do consumo energético do edifício G, a ser ainda apurada na prática. A solução passa ainda por alteração das luminárias, trocando as lâmpadas existentes, pouco eficientes, por luminárias e lâmpadas mais eficientes tipo LED e o controlo da iluminação por sensores de movimento e luminosidade. Na Fig. 4 está representada a vista real do edifício e a solução gráfica 3D construída no TinkerCad do sistema a implementar e que será a base da construção do protótipo final.

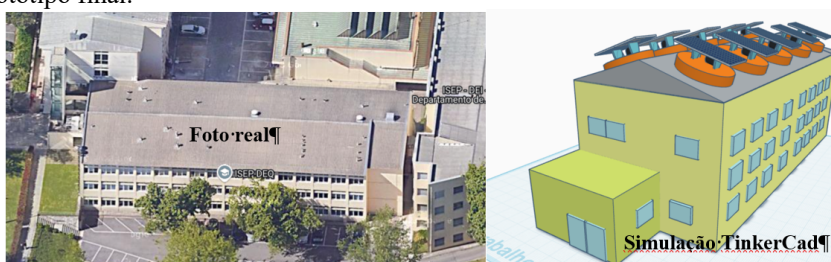


Fig. 4. Vista real do Edifício G e modelo 3D do sistema fotovoltaico no Tinkercad.

O sistema fotovoltaico a instalar no edifício G (Fig. 4) será rotativo e acompanhará o movimento do sol, de nascente a poente. O controlo do movimento dos painéis será feito pelo microcontrolador Arduino Uno R3 e que fará uma análise da incidência da luz solar sobre 4 células LDR (Light Dependent Resistor), colocadas em cruz, rodando-o numa linha perpendicular à posição do sol com o plano que contém os painéis fotovoltaicos. Na Fig. 5 apresenta-se o circuito eletrónico no TinkerCad do esquema elétrico implementado para o controlo de um desses painéis fotovoltaicos.

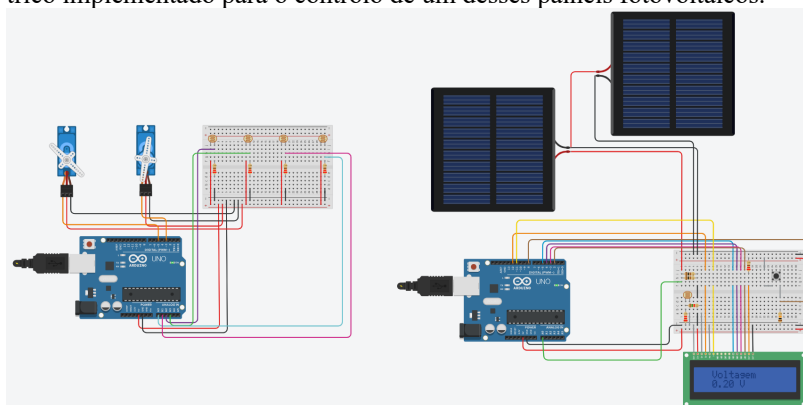


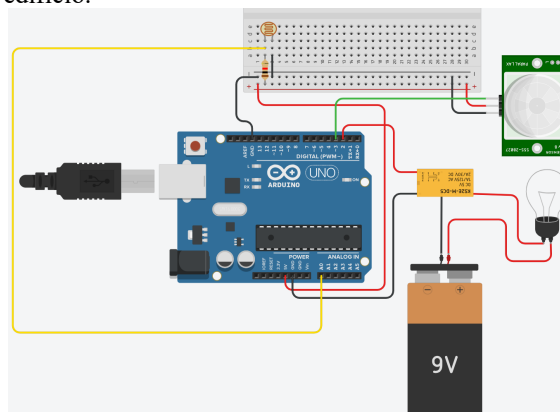
Fig. 5. Circuito eletrónico no TinkerCad para controlo do painel fotovoltaico.

Na tabela 3 pode-se ver um fragmento do código de programação para leitura de valores e cálculo de corrente e luz incidente que consta no programa de controlo do sistema fotovoltaico visualizado na Fig. 5.

Tabela 3. Fragmentos do código para o Arduino no controlo painel fotovoltaico.

Cód. Leitura de botão de Controlo	Cód. leitura do valor de incidência solar
<pre> if (digitalRead(8) == 1) { //lê o botão var1 = 1; // Variável de controlo = 1 delay (250); } while (var1 == 1) { // Corrente lcd.setCursor(2,0); lcd.print("Corrente "); valorSensor=analogRead(sensor); inten=((valorSensor*0.00489)/50)*1000; lcd.setCursor(2, 1); lcd.print(inten); lcd.print(" "); lcd.print("mA "); if (digitalRead(8) == 1) { // Variável de controlo = 2 var1 = 2; delay (250); } } </pre>	<pre> while (var1 == 3) { // Irradiação lcd.setCursor(2,0); lcd.print("Irradiacao "); lcd.write((byte)0); lcd.write("n "); valorSensor=analogRead(sensor); volt=(valorSensor*0.00489); irra=(volt*200); lcd.setCursor(2, 1); lcd.print(irra); lcd.print(" "); lcd.print("W/m2 "); if (digitalRead(8) == 1) { // Variável de controlo = 4 var1 = 4; delay (250); } } </pre>

Já o controlo interno da luz nos corredores e/ou salas de aula é feito através de um sensor de movimento PIR (Passive Infrared Sensor) e por LDR. Na Fig. 6 apresenta-se o esquema elétrico do circuito eletrónico implementado no TinkerCad para o controlo de iluminação do edifício.

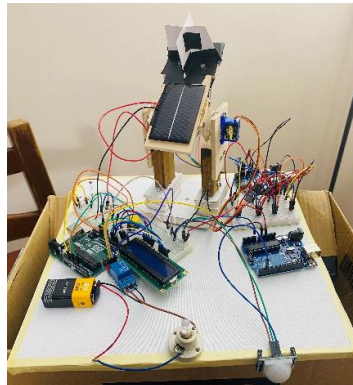
**Fig. 6.** Circuito eletrónico no TinkerCad para controlo de iluminação do edifício.

Na tabela 4 pode-se ver um fragmento do código para controlo de acionamento da iluminação de parte do edifício G e que consta no programa de controlo do sistema fotovoltaico visualizado na Fig.6.

Tabela 4. Fragmentos do código em C++ para de controlo de iluminação.

Código C++ de controlo de iluminação para Arduino
<pre> void loop() { int luminosidade = analogRead(pinoldr); Serial.print("Valor luminosidade = "); //Imprime na serial a mensagem Valor lido pelo LDR Serial.println(luminosidade); //Imprime na serial os dados de luminosidade int movimento = digitalRead(pinopir); if (luminosidade >= 600 && movimento == HIGH) // Se não houver luz e houver movimento aciona o relé { digitalWrite(pinorele, HIGH); // aciona relé delay(3000); // Deixa um tempo a luz ligada } else // Caso contrário, desliga o relé { digitalWrite(pinorele, LOW); // desliga o relé } } </pre>

O projeto envolvia a construção de um protótipo físico que integrasse as funcionalidades e simulações referidas anteriormente. Para isso, todos os componentes do protótipo foram montados com apoio em *breadboards* e ligados aos Arduinos, como se vê na imagem da Fig. 7.

**Fig. 7.** Protótipo para simular e controlar o sistema fotovoltaico e de iluminação.

De referir que o protótipo apresentado na Fig. 7 apenas apresenta os componentes eléctricos/electrónicos que serão posteriormente integrados numa maquete física 3D, tal como se apresentou e se vê na figura 4. Esta foi a tarefa 5 da PBL e pôde-se verificar, numa escala reduzida, o funcionamento de um seguidor solar analisando o seu movimento em função da posição do foco de luz. Pôde-se também analisar como se comporta a iluminação numa sala com uso de um sensor de iluminação e um sensor de movimento. Verificou-se que a luz permanece desligada quando existe luminosidade e movimento na sala e, também, quando não existe luminosidade e não existe movimento. A luz acende quando existe movimento, mas a luminosidade é insuficiente.

5 Conclusões

O projeto de controlo e simulação de um painel fotovoltaico a instalar num edifício do ISEP que se descreveu neste documento foi lançado como uma atividade de aprendizagem nas unidades curriculares de LMAT1 e de MTENG, inseridas no plano curricular do 1º ano do curso de LESEE do ISEP. A realização das tarefas constante nessa atividade de aprendizagem teve a duração de 6 semanas letivas, com o objetivo de os alunos tomarem contacto com algumas competências exigidas a um engenheiro de Sistemas Elétricos de Energia. Nesse sentido, o projeto seguiu a metodologia de ensino e aprendizagem assentes no PBL [2] [4] [11] e em consonância com as recomendações do modelo CDIO [12] e EUR-ACE [13].

Os resultados obtidos nas tarefas 2, 4 e 5 foram ao encontro dos resultados esperados. Isto permite concluir que as simulações e o protótipo foram contruídos com sucesso, dando desta forma resposta ao que foi pretendido.

A tarefa 1, embora tenha sido concluída, pelo facto de ser um exercício académico, não se pode afirmar que foi realizado com total sucesso, uma vez que não existem dados reais comparativos para se poder dar uma resposta exata relativamente à quantidade de painéis possíveis de colocar no edifício G, não sendo possível desta forma definir as reais necessidades energéticas que poderíamos satisfazer e sua análise económica. No caso da iluminação não se pode afirmar quais as luminárias e lâmpadas de deveriam trocar no edifício, uma vez que não se obteve uma relação do que está neste momento instalado e, por isso, também não se consegue obter qual a percentagem de poupança se poderia obter através desta troca. No entanto, atendendo que a direção do ISEP tem um projeto aprovado através do PRR para instalação de um sistema fotovoltaico para todos os edifícios da Instituição, em termos futuros, espera-se conseguir complementar e comparar os resultados obtidos deste trabalho com o que será instalado na realidade. A atividade de projeto de controlo e simulação de um painel fotovoltaico permitiu aprender conceitos de funcionamento de painéis fotovoltaicos, da plataforma Arduino, de programação por blocos no TinkerCad e por código (C++) na IDE do Arduino, modelar em 3D (TinkerCad), simular e implementar o funcionamento de circuitos eletrónicos no TinkerCad, realizar modelação matemática e simular dinamicamente sistemas físicos em GeoGebra. A realização das tarefas do projeto permitiu ainda aprendizagem de comunicação de resultados em público e da escrita de relatório científicos.

Referências

1. W. Ekawati, "Implementing integrated project based learning to enhance students' writing skill" *ELLITE: Journal of English Language, Literature, and Teaching*, 3(2), 69, 2019.
2. J. Magalhães, M. Costa, A. Pinto, and C. Sá, "PBL as an Integration Activity for New Engineering Students at ISEP", In *Academic Success in Higher Education. Proceedings of the CASHE conference in Porto from 7th to 8th April 2022*.
3. R. Tiwari, RK Arya, and M. Bansal, "Motivating students for project-based learning for application of research methodology skills", *Int J App Basic Med Res*, 7:S4-7, (2017).
4. IRENA (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2021*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. <https://www.irena.org/>

- /media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Aug/IRENA_Renewable_power_generation_costs_in_2022.pdf (retirado em 21/11/2025)
5. E. S. Izidoro, H. N. Silva, and R. Soares, “Painel Solar: uma alternativa para a geração de energia”. *Bolsista de Valor*, 1, 81–84, (2010). <https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1796>.
 6. C. A. Pereira, “Sistemas de autoconsumo fotovoltaico”, (2016). <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/12577>
 7. P. M. Batista, “Autoconsumo fotovoltaico, análise de um caso de estudo em termos de poupança e de rentabilidade”, (2017). <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/28282>
 8. Web Archive, “O que é um sistema solar fotovoltaico” (2021). https://web.archive.org/web/20230921190805/https://energiasmadeira.pt/como-funciona/#o_sistema.
 9. J. Magalhães, “Arduino – Ciência Viva”, ISEP (2019).
 10. D. F. M. Almeida, “Sistema Inteligente para Iluminação Pública”, (2016). <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/85891>
 11. J. Magalhães, A. Pinto, M. Costa, and C. Sá, “Implementation of a PBL/CDIO methodology at ISEP-P. PORTO Systems Engineering Course”, 3rd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE 2018), 27-29 June, Aveiro, Portugal, 2018. ISBN: 978-1-5386-3771-5 (2018).
 12. K. Edström, and A. Kolmos, “PBL and CDIO: complementary models for engineering education development”, *European Journal of Engineering Education*, 39:5, pp. 539-555 (2014).
 13. J. Malmqvist, “A COMPARISON OF THE CDIO AND EUR-ACE QUALITY ASSURANCE SYSTEMS”, in *Proceedings of the 5th International CDIO Conference*, Singapore Polytechnic, Singapore, June 7 – 10 (2009).