

# Estudo e Simulação de sistema fotovoltaico para produção energética a instalar Edifício E do ISEP

António Mota<sup>1</sup>, José Magalhães<sup>2</sup>, Edgar Monteiro<sup>1</sup>, Cláudio Cunha<sup>1</sup>, Bruno Nunes<sup>1</sup>  
Alberto Peixoto Pinto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Alunos do Instituto Superior de Engenharia, Politécnico do Porto, Porto, Portugal  
1030050@isep.ipp.pt, 1221761@isep.ipp.pt, 1182105@isep.ipp.pt, 1201961@isep.ipp.pt

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

**Resumo.** Este estudo apresenta uma proposta técnica para a implementação de um sistema de geração de energia fotovoltaica para autoconsumo no Edifício E do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). O objetivo principal consistiu em analisar a viabilidade de um sistema capaz de maximizar a eficiência energética do consumo elétrico do edifício através de geração de energia a partir de uma plataforma de painéis fotovoltaicos rotativa com seguimento solar (solar tracking) automatizada. A metodologia adotada integrou a modelação matemática da trajetória solar e o desenvolvimento de um protótipo experimental automatizado, baseado na plataforma Arduino e com sensores de luminosidade. A investigação abordou a análise comparativa de tecnologias de painéis monocristalinos e policristalinos, bem como a simulação do controlo de movimento dos painéis fotovoltaicos em dois eixos. Os resultados obtidos através da maquete funcional demonstram a viabilidade técnica da aplicação de sistemas dinâmicos de captação solar, evidenciando o potencial de otimização da produção de energia elétrica face a soluções estáticas.

**Palavras-chave:** Energia Fotovoltaica; Seguidor Solar (Solar Tracker); Arduino; Prototipagem Eletrónica; Simulação.

## 1 ENQUADRAMENTO e OBJETIVOS

A implementação de sistemas fotovoltaicos para iluminação em edifícios públicos e escolas representa uma solução sustentável e economicamente viável. Nesse sentido e no âmbito da unidade curricular de Laboratórios de Matemática 1 (Curso de Licenciatura em Sistemas Elétricos de Energia), foi lançado o repto a este grupo de estudantes para a realização de um estudo de melhoria da eficiência com gastos de consumo energético de um determinado edifício E do campus do ISEP. Neste edifício estão localizados os órgãos de administração do ISEP, bem como um conjunto variado de serviços administrativos.

Os objetivos com a realização deste trabalho foram o de apresentar uma proposta de implementação de sistema real de autoprodução de energia fotovoltaico para o edifício E do ISEP e com medidas de melhoria eficiência energética de consumos (tarefa 1), modulação 3D em software do edifício E com inclusão dos respetivos painéis fotovoltaicos (tarefa 2), construção de um protótipo físico automatizado de pequena escala representativo das soluções propostas (tarefa 5). As tarefas 3 e 4 tinham objetivos de índole mais matemático, tais como, modelar e simular em GeoGebra a rotação dos painéis fotovoltaicos em consonância com o movimento solar e aplicação de métodos numéricos de resolução de equações para a determinação da posição do sol em determinadas situações pré-enunciadas matematicamente.

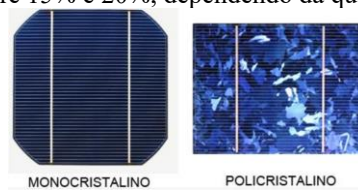
Dos resultados obtidos e sua análise sugere-se a instalação de um sistema rotativo com 62 painéis fotovoltaicos monocristalinos ocupando uma área de  $124 \text{ m}^2$  no telhado do edifício E e com capacidade de fornecer cerca de 40 kWh para as suas necessidades energéticas. A maquete produzida e com simulação do sistema eletrónico automatizado implementada na plataforma Arduino demonstram a viabilidade técnica do sistema proposto.

## 2 Referencial Teórico

Os painéis fotovoltaicos são dispositivos que permitem captar energia solar convertendo essa mesma energia em energia elétrica [1]. Sendo considerada uma alternativa energética renovável e alternativa a outros tipos de energia, como os combustíveis fósseis, é uma das mais utilizadas em todo o mundo. A integração de sistemas fotovoltaicos em edifícios escolares tem sido amplamente estudada como estratégia para reduzir custos energéticos e promover sustentabilidade. Estudos demonstram que escolas apresentam condições favoráveis para autoprodução devido ao elevado potencial solar e ao consumo concentrado em horários diurnos. Por exemplo, Alsamamra e Shoqeir [1] analisaram a viabilidade de instalar sistemas fotovoltaicos em escolas públicas, concluindo que a utilização de telhados pode gerar economias significativas e reduzir emissões de  $\text{CO}_2$ . Atualmente, os painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado permitem obter produções de energia de cerca de 600W para uma área útil de captação de  $2 \text{ m}^2$ .

A utilização de painéis fotovoltaicos para produção de energia elétrica, pode ser equacionada para funcionamento em sistema On-Grid ou Off-Grid [2]. Um sistema On-Grid, permite utilizar energias renováveis em conjunto com a energia da rede de distribuição, de forma que esta última complemente a primeira apenas quando a energia produzida é insuficiente. Já um sistema Off-Grid, apenas permite utilizar energias fotovoltaica sem acesso à rede de distribuição e utiliza baterias para armazenar a energia gerada e garantir o fornecimento mesmo sem sol. Trata-se de um sistema totalmente independente. Os sistemas Híbridos combinam as duas tecnologias, são conectados à rede e possuem baterias, permitindo o uso do excedente armazenado e atuando como backup em caso de falhas na rede. Abdillah et al. [3] compararam diferentes configurações (on-grid, off-grid e híbridas) para escolas, verificando que sistemas híbridos oferecem maior poupança anual e melhor integração com a rede elétrica.

Os painéis solares fotovoltaicos são utilizados para o autoconsumo elétrico. Estes tipos de painéis são compostos por células de silício que reagem à luz solar produzindo eletricidade. Dos diversos tipos de painéis fotovoltaicos (orgânicos, monocristalino, policristalino, filme fino, silício amorfo, etc.) os mais comuns são os monocristalinos e policristalinos (Fig.1). Um painel monocristalino é composto por um conjunto de células de um cristal de silício. Nestes pretende-se que o espaço entre as várias células seja o mínimo possível para maximizar a captação de energia. Estes painéis possuem uma cor mais escura, que os distingue dos painéis policristalinos, mais azulados e o seu rendimento pode variar entre 15% e 20%, dependendo da qualidade [2].



**Fig. 1.** Aspeto de células monocristalinas e policristalinas.

Os painéis policristalinos possuem conjunto de células de cristais de silício que foram cortados e aquecidos, sendo fragmentado no seu estado final. A produção deste tipo de componentes é mais rápida e barata, mas têm uma eficiência menor que as células feitas com um cristal único. Estes painéis possuem um aspeto mais característico de formato quadrado e cor azulada e o seu rendimento pode variar entre os 13% e os 16% [2]. Podem constituir uma boa alternativa para situações em que a disponibilidade económica é menor ou em que a luz solar seja mais abundante durante o ano, por forma a tornar a diferença de rendimento mais negligenciável.

Além da geração fotovoltaica, a eficiência energética em escolas pode ser ampliada através do controlo inteligente da iluminação. Sistemas baseados em sensores de movimento e luminosidade, integrados com plataformas como Arduino, permitem reduzir desperdícios energéticos em salas e corredores. Dhakla et al. [4] desenvolveram um controlador automático de iluminação com Arduino e sensores PIR, demonstrando redução significativa no consumo elétrico.

Em termos educativos, a construção de protótipos com Arduino tem sido utilizada para ensinar conceitos de energia renovável e automação. Hassan e Abubakar [5] apresentaram um sistema de rastreamento solar com Arduino e LDRs, obtendo ganhos de até 30% na captação energética em comparação com painéis fixos. Estes protótipos, aliados a simulações em plataformas abertas, permitem comparar soluções como rastreamento solar versus sistemas estáticos, ou iluminação convencional versus automatizada, promovendo aprendizagem prática e análise crítica de viabilidade técnica e económica.

## 3 METODOLOGIA e MATERIAIS

### 3.1 Metodologia

No sentido de haver uma integração de conhecimentos na área de Engenharia Eletrotécnica e de Matemática foi realizado um projeto que envolveu as unidades curriculares de Laboratórios de Matemática I (LMAT1) e Métodos de Engenharia (MTENG) do 1º ano do curso de licenciatura de Engenharia de Sistemas Elétricos de Energia, ano letivo de 2022/23. Os objetivos da atividade de aprendizagem lançado aos alunos foi da concretização de uma proposta/solução de implementação e simulação de um sistema fotovoltaico a instalar num edifício do ISEP, em particular o edifício E. Para a implementação da solução foi necessário usar e programar na plataforma Arduino, simular e programar por blocos e/ou código na plataforma TinkerCad o funcionamento de circuitos eletrónicos. Para além dessas *hard skills* do fórum da engenharia, houve o intuito de aprendizagem de conceitos matemáticos, estudo de funções multivariável (funções implícitas e paramétricas), resolução de equações pelos métodos numéricos. Em relação às aprendizagens *soft skills*, o projeto envolveu trabalho de equipa com realização de relatórios escritos, construção de poster e apresentação pública de resultados.

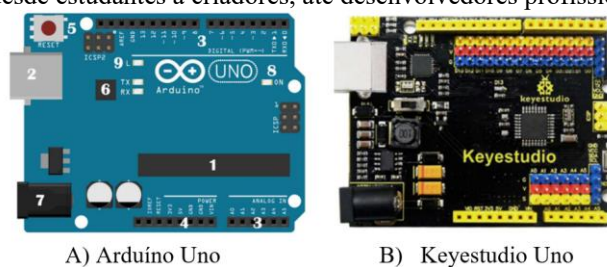
O projeto iniciou com estudos e pesquisas prévias sobre funcionamento geral: do Arduino e forma da sua interligação com sensores de luminosidade e controlo de servo motores; TinkerCad e como este permitia o desenvolvimento de modelos em 3D, criar e simular circuitos elétricos e eletrónicos; GeoGebra e como o mesmo permitia explorar graficamente e numericamente de problemas de matemática e simultaneamente simular o movimento de rotação dos painéis fotovoltaicos na direção do sol.

Partindo desses estudos iniciais, elaborou-se uma proposta para dimensionar o sistema de painéis fotovoltaicos rotativos real para gerar energia para o edifício E, e com vista a uma maior eficiência de produção de energia, movimentando-se em direção ao sol ao longo do tempo com o melhor ângulo de inclinação [6]. Para sustentar a proposta, com apoio do TinkerCad, realizou-se um estudo do local da localização dos painéis no telhado, apresentando-se um modelo 3D do edifício, criou-se os esquemas elétricos, a programação e a simulação de funcionamento eletrónico do sistema. Para uma melhor visualização e demonstração de funcionamento da solução construiu-se um protótipo/maquete em pequena escala que mostra a dinâmica de movimento dos painéis com integração de sensores, controlo e monitorização do sistema eletrónico na plataforma Arduino. Já o GeoGebra serviu com base para reprodução visual e conhecimento do movimento solar com determinação de algumas posições do sol ao longo do dia.

### 3.2 Materiais

Para a monitorização e controlo do sistema fotovoltaico houve necessidade da procura, no domínio dos microcontroladores, de uma plataforma de implementação simples, rápida, fiável e de baixos custo. A escolha recaiu no Arduino, porque permite ter acesso a um variado número de possibilidades de soluções na área da eletrónica de automação e controlo, desde o controlo de sistemas de iluminação até ao envio de comandos para motores. A plataforma Arduino foi criada por Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom

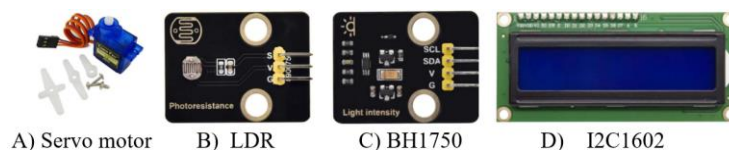
Igoe e David Mellis [7] e criaram aquilo a que deram o nome de Arduino (Fig. 2 A)) e teve como objetivos permitir a toda a gente de forma simples desenhar e criar, com recurso a equipamentos eletrônicos e software, a interação das tecnologias com o mundo físico, desde estudantes a criadores, até desenvolvedores profissionais.



**Fig. 2.** Microcontrolador Arduino

Existem algumas variantes destes microcontroladores e que vão desde o Uno até ao Mega, passando pelo Micro ou o Zero [8]. Apesar de algumas diferenças eles, por exemplo, número de portas de comunicação disponíveis ou capacidade de ligação Bluetooth, a adoção da versão Uno (Fig. 2) para a realização do projeto verificou-se ser suficiente e por ser uma das versões mais baratas e simples. Sendo o Arduino um sistema baseado em *open source*, com liberdade de criação e desenvolvimento, fez com que fosse possível encontrar no mercado, mas com preços mais competitivo, a placa Keyestudio Uno (Figura 1 B), da Key Estudio, construída com base no mesmo sistema e código fonte [9], e adotada como solução final a integrar no projeto.

Após a escolha da plataforma de controlo em Arduino, houve a necessidade de escolher todos os componentes (hardware) de suporte à construção da maquete do protótipo da solução de geração fotovoltaica. Como os painéis fotovoltaicos deverão estar sempre (ou o máximo possível) voltados de forma direta para a fonte de energia solar [6], houve a necessidade da utilização de 2 servo motores (Fig. 3A) para movimentar os painéis, um para o eixo vertical e outro o horizontal. Este componente é semelhante a um motor comum, com a particularidade de poder rodar até uma determinada posição, mantendo-a numa espécie de bloqueio, até que seja dada indicação para rodar novamente [10].



**Fig. 3.** Hardware de suporte ao Arduino

Para apoio à decisão desse movimento de rotação dos painéis foram usadas 4 LDR e que é um componente eletrónico em que o valor a sua resistência varia consoante a luz que é captada (Fig. 2 B). Tipicamente, quanto maior o valor da luz que incide, menor é o valor da resistência e vice-versa [11]. Um outro componente utilizado neste projeto, pese embora não tenha uma implicação direta no resultado, é um medidor de intensidade de luz. Serviu como componente de suporte extra, permitindo ter uma noção sobre

os valores de luminosidade que estavam a ser captados pelo sistema em si. Este componente em particular, é o BH1750, versão Keyestudio (Figura 2 C). Por fim, outro componente utilizado e que permitiu visualizar as leituras em tempo real dos valores que estão a ser manipulados foi o Display de Cristais Líquidos (LCD) I2C1602 (16 caracteres por linha, 2 linhas) (Fig. 2 D).

## 4 Resultados e Discussão

Atendendo aos objetivos do seminário de Engenharia Informática do ISEP, neste seção dar-se-á enfoque à análise de resultados relativos à proposta a implementar, programação da simulação e da implementação da maquete/protótipo do sistema fotovoltaico.

### 4.1 Proposta de sistema fotovoltaico para o edifício E

Para a resposta à tarefa 1 do projeto, contactou-se os responsáveis pela manutenção do Edifício E do ISEP (Fig. 3) de forma a obter dados sobre os consumos atuais do mesmo. Tal não foi possível, com a justificação do disposto no Regulamento Geral da Proteção de Dados, como tal, considerando que o presente trabalho é meramente académico, optou-se prosseguir com base em estimativas de consumo energético considerados os sistemas de iluminação e os equipamentos periféricos por constatação no local. Assumiu-se 40 KW/h de consumo do edifício, projetando-se com um coeficiente de simultaneidade de funcionamentos da iluminação e equipamentos de 80%.

Para melhoria da eficiência energética para o edifício E propõem-se dimensionar um sistema gerador de energia elétrica com base em painéis fotovoltaicos rotativos sempre orientados em direção ao sol, assumindo a sua melhor eficiência como relata a literatura. A comparação da eficiência do sistema estático em relação ao não foi possível ser confirmada neste trabalho, por não ter havido acesso a um painel real comercial que se propõe para a solução. Na opção de escolha do tipo de painel fotovoltaico foram apenas considerados dois tipos, monocristalino e policristalino. Após consulta a alguns fabricantes selecionou-se o painel Canadian Solar 650 W HIKU7 monocristalino com capacidade de 650 W e com dimensão de cerca 2 m<sup>2</sup> [12]. Considerando o consumo de 40 kWh para o edifício, serão necessários montar 62 painéis ( $62 \times 0,650 \text{ kWh} = 40.3 \text{ kWh}$ ) ocupando aproximadamente 124 m<sup>2</sup> ( $62 \times 2 \text{ m}^2$ ) de telhado. Para confirmação de área disponível de telhado do edifício E para a instalação dos 62 painéis, com recurso ao Google Maps (Fig. 3), determinou-se haver disponibilidade de cerca de 1.800 m<sup>2</sup>, mais que suficientes para as necessidades.

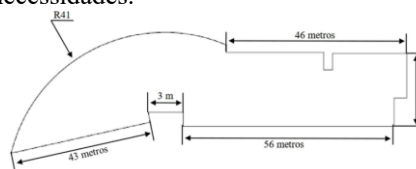
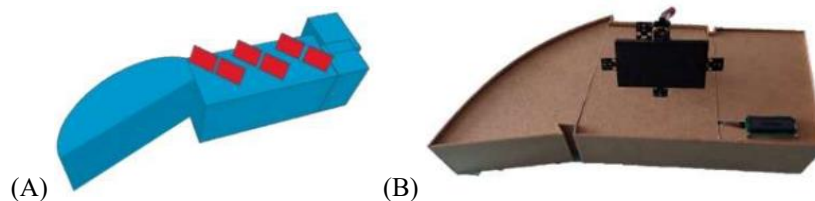


Fig. 4. Edifício E do ISEP

A fase seguinte foi criar uma representação 3D do edifício, com recurso ao TinkerCad (Fig. 5A). Neste modelo 3D foi gerido a localização dos painéis fotovoltaicos e que forneceu a base para a construção da maquete física representativa do Edifício E do ISEP, construída com recurso ao MDF (Medium Density Fiberboard) (Fig. 5B).

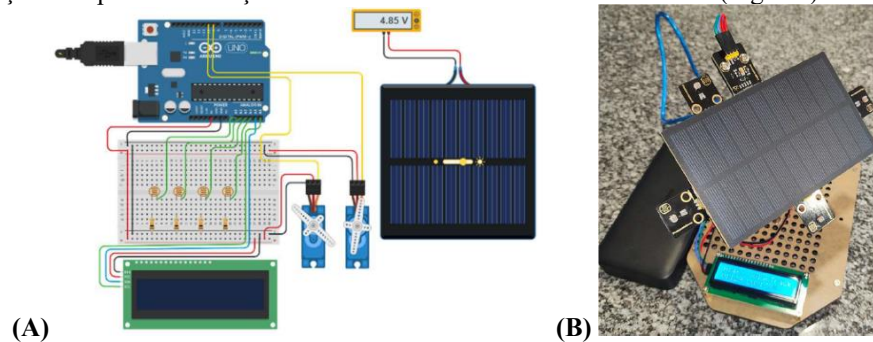


**Fig. 5.** Modelo 3D em Tinkercad (A) e Maquete física do Edifício (B)

Na maquete física construída (Fig. 5B) é possível observar a existência de um mini painel fotovoltaico com 4 sensores LDR montados nas suas laterias e está acoplado a todo o circuito composto pelo microcontrolador e restantes componentes eletrónicos.

#### 4.2 PROTÓTIPOS E DESENVOLVIMENTO ARDUÍNO

Para a construção do protótipo final, desenvolveu-se circuito eletrónico, sua programação e respetiva simulação de funcionamento através do TinkerCad (Fig. 6A)



**Fig. 6.** Protótipo do sistema em Tinkercad

Com base no sucesso dessa simulação foi possível avançar para a construção física do protótipo eletrónico do painel fotovoltaico (Fig. 6B) que rodada na direção do foco de luz (teste com luz solar e uma lanterna) e possibilitou o carregamento de um carregador portátil (*powerbank*). Após a sua implementação carregou-se e reajustou-se o software para a IDE do Arduino para a realização dos testes à sua programação. Nessa programação foi necessário criar linhas de código (Fig. 7) para definir quais as bibliotecas de apoio aos sensores (servomotores, LCD e do medidor de intensidade de luz), definirem variáveis gerais, os pinos onde se ligam os sensores ao Arduino, valores mínimos e máximos para a posição de cada servomotor (evitando que o painel rodasse para além do necessário), valores de tolerância para leitura de valores nos LDR de modo a evitar movimento de rotação instável do movimento do painel (vibrações).

```

1  #include <Servo.h> //biblioteca para controlo dos servos
2  #include <LiquidCrystal_I2C.h> //biblioteca para controlo do LCD
3  #include <BH1750.h> //biblioteca para controlo do medidor de intensidade de luz
4
5  LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); //Definir o tipo de LCD
6  BH1750 medidorLUX; //Definir o medidor de intensidade de luz
7
8  Servo ud_servo; //servo vertical (up down)
9  Servo lr_servo; //servo horizontal (left right)
10
11 byte ud_servopin=10; //pino do servo vertical
12 byte lr_servopin=9; //pino do servo horizontal
13
14 int ud_posicao=135; //posição inicial servo vertical
15 int lr_posicao=90; //posição inicial servo horizontal
16
17 byte ud_posicao_MAX = 180; //valor máximo para a posição do servo vertical
18 byte ud_posicao_MIN = 90; //valor mínimo para a posição do servo vertical
19 byte lr_posicao_MAX = 180; //valor máximo para a posição do servo horizontal
20 byte lr_posicao_MIN = 0; //valor mínimo para a posição do servo horizontal
21
22 int LDR_Direito = A0; //pino do LDR direito
23 int LDR_Esquerdo = A1; //pino do LDR esquerdo
24 int LDR_Inferior = A2; //pino do LDR inferior
25 int LDR_Superior = A3; //pino do LDR superior
26
27 byte tolerancia = 300; //definição de margem de tolerância para que os servos
28 //não estejam em constante movimento
29 byte intervalo = 50; //valor da taxa de atualização (em ms)
30 byte rotacao_minima = 1; //definição do ângulo de rotação mínimo

```

**Fig. 7.** Programação intermédia 1

O bloco da função setup (Fig.8) permite a alocação e a definição dos pinos (input ou output) do Arduino na ligação com os sensores e a sua inicialização.

```

32 void setup(){
33   ud_servo.attach(ud_servopin); //Definição do pin de controlo do servo
34   ud_servo.write(ud_posicao); //Colocar o servo vertical na posição inicial
35   lr_servo.attach(lr_servopin); //Definição do pin de controlo do servo
36   lr_servo.write(lr_posicao); //Colocar o servo horizontal na posição inicial
37
38   pinMode(LDR_Direito, INPUT); //Definir este LDR como input
39   pinMode(LDR_Esquerdo, INPUT); //Definir este LDR como input
40   pinMode(LDR_Inferior, INPUT); //Definir este LDR como input
41   pinMode(LDR_Superior, INPUT); //Definir este LDR como input
42
43   lcd.init(); //Inicializar o LCD
44   lcd.backlight(); //Inicializar o backlight do LCD
45   EscreveLCD(6, 0, "SolarTrack", 0, ""); //Escreve no LCD 1ª linha (v2)
46
47   medidorLUX.begin(); //inicializar o medidor de luz
48
49   delay(1000); //Aguardar 1 segundo
50 }

```

**Fig. 8.** Programação intermédia 2

O bloco de loop (Fig. 9) reflete a rotina principal e que chama as funções de escrita da intensidade de luz incidente no painel e a tomada decisão de rotação dos painéis.

```

52 void loop(){
53   EscreveLCD(6, 1, "LUX:", MedirLuz(), ""); //Escreve no LCD 2ª linha (v2)
54   MoverServos();
55 }

```

**Fig. 9.** Programação intermédia 3

A função EscreveLCD permite escrever informação no LCD a intensidade da luz incidente e que é obtida através da função MedirLuz que devolve um valor inteiro correspondente à medição de intensidade de luz do respetivo sensor.

A função `MoverServos` (Fig. 10) é responsável pela rotação dos servomotores de acordo com a leitura de valores dos LDR.

```

83 //Esta função move os servos. Esta é a V2 da função (após otimização do código)
84 void MoverServos(){
85   int L = analogRead(LDR_Esquerdo);//leitura do valor do sensor
86   int R = analogRead(LDR_Direito);//leitura do valor do sensor
87   int U = analogRead(LDR_Superior);//leitura do valor do sensor
88   int D = analogRead(LDR_Inferior);//leitura do valor do sensor
89
90   lr_posicao = CalcularMovimento(L, R, lr_posicao, lr_posicao_MIN, lr_posicao_MAX);//Calcular a nova posição do servo horizontal (V2)
91   lr_servo.write(lr_posicao);//muda a posição do servo (caso o valor seja o mesmo, o servo não se mexe)
92   EscreveLCD(0, 0, "H:", lr_posicao, ""); //Escreve no LCD (V2)
93   //lcd.setCursor(0,0);lcd.print("HORIZ: ");lcd.print(lr_posicao);if(lr_posicao<100)lcd.print(" "); //Escreve no LCD V1
94   delay(intervalo);//intervalo entre ajustes para evitar danos aos servos
95
96   ud_posicao = CalcularMovimento(U, D, ud_posicao, ud_posicao_MIN, ud_posicao_MAX);//Calcular a nova posição do servo vertical (V2)
97   ud_servo.write(ud_posicao);//muda a posição do servo (caso o valor seja o mesmo, o servo não se mexe)
98   EscreveLCD(0, 1, "V:", ud_posicao, ""); //Escreve no LCD (V2)
99   //lcd.setCursor(0,1);lcd.print("VERT: ");lcd.print(ud_posicao);if(ud_posicao<100)lcd.print(" "); //Escreve no LCD V1
100  delay(intervalo);//intervalo entre ajustes para evitar danos aos servos
101 }

```

Fig. 10. Programação intermédia (função `MoverServos`)

A função `MoverServos` chama uma outra, `CalcularMovimento` (Fig. 11), e que permite realizar o posicionamento dos servomotores em cada iteração.

```

170 //Esta função calcula a nova posição de um servo. Recebe o valor de duas LDR (L e D ou U e D), a posição
171 //atual do servo e os mínimos e máximos do mesmo. Devolve o valor da nova posição. Esta função fez parte
172 //do processo de otimização do código
173 int CalcularMovimento(int valor1, int valor2, int posicao, int min, int max){
174   //Otimizacao de código V3 - substitui todas as linhas acima desta na função CalcularMovimento
175   if (abs(valor1 - valor2) > tolerancia){ //Apenas muda de posição se ultrapassar a tolerância (diferença entre valores)
176     posicao = valor1 > valor2 ? posicao - rotacao_minima : (valor1 < valor2 ? posicao + rotacao_minima : posicao);
177     //Valida qual o lado para onde rodar
178   }
179   return posicao < min ? min : (posicao > max ? max : posicao); //Valida os limites dos servos e devolve a nova posição
180 }

```

Fig. 11. - Programação intermédia (`CalcularMovimento V3`)

## 5 Conclusões

Este trabalho reflete uma proposta académica de um sistema de autoprodução fotovoltaica para o edifício E do ISEP usando a plataforma Arduino para monitorizar e controlar os diversos sensores eletrónicos. O edifício tem uma utilização intensiva, particularmente durante o dia, e sugere-se implementar e incluir no telhado um sistema de 62 painéis fotovoltaicos com rotação automatizada em direção ao movimento do sol e capaz de gerar 40 kWh de energia, permitindo uma redução efetiva da despesa mensal com custos energéticos aliado uma maior sustentabilidade ambiental.

O protótipo físico representativo da solução para implementação do sistema fotovoltaico rotativo no edifício E, demonstram a viabilidade técnica do uso da plataforma eletrónica Arduino associado a um conjunto de sensores de luz para fazer o controlo dinâmico de processo de autoprodução energética. No entanto, em termos futuros, sugere-se que uma melhoria desta solução no sentido de incluir funcionalidades IoT, nomeadamente, controle e monitorização por telemóvel e gestão integrada computacional da produção e consumo energético de todos os edifícios do campus do ISEP. Atendendo à dimensão, poderá haver necessidade de acrescentar novas funcionalidades, migrar o sistema de microcontroladores para ESP32, Raspberry ou outra com maior capacidade de processamento digital e com integração de interfaces de Bluetooth e WiFi.

Como este trabalho se integrou numa atividade de aprendizagem com alunos de engenharia de Sistemas Elétricos de Energia, os estudantes reconhecem que esta metodologia de aprendizagem lhes permitiu aprofundar conhecimentos relativamente aos sistemas de produção de energia fotovoltaica, solidificar o que aprenderam durante as aulas, utilização de um microcontrolador, cálculo e aplicação de modelos matemáticos. De uma forma geral, os estudantes consideraram o trabalho proposto muito interessante, do ponto de vista académico, mas ao mesmo tempo com uma aplicabilidade prática muito elevada e, tecnicamente, perfeitamente possível de implementar.

## Referências

1. H. Alsamamra and J. Shoqeir, “Solar Photovoltaic Systems on Public Schools Buildings: A Case Study in Palestine,” *American Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 1–5, Feb. 2021.
2. Carolina Hisatomi, “Painel solar monocristalino: o que é e propriedades” (2022). [Online]. Available: <https://www.ecycle.com.br/painel-solar-monocristalino/>. [Acedido em 13 12 2022].
3. M. Abdillah, F. M. Satria, N. I. Pertiwi, and H. Setiadi, “Design of photovoltaic system for public school building,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 29, no. 1, pp. 56–65, Jan. 2023. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v29.i1.pp56-65>.
4. D. Dhakla et al., “Designing of Automatic Room Lights Controller by Using Arduino,” *International Journal for Scientific Research & Development*, vol. 9, no. 6, 2021.
5. [R. Hassan and B. Abubakar, “Intelligent Arduino Based Automatic Solar Tracking System Using Light Dependent Resistors (LDRs) and Servo Motor,” *Optics*, vol. 9, no. 2, pp. 13–18, Dec. 2020.
6. P. Reis, “Qual a inclinação que um painel solar deve ter?,” *Portal Energia* (2022).[Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/qual-inclinacao-painel-solar/>. [Acedido em 20 12 2022].
7. Arduino, “About Arduino” (2024). [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/about#founders>. [Acedido em 12 12 2024].
8. Arduino, “Hardware, boards and components,” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>. [Acedido em 13 12 2022].
9. KeyEstudio, “Distribuidora de sistemas de microcontrolo” (2022). [Online]. Available: <https://www.keyestudio.com/>. [Acedido em 13 12 2022].
10. H. Mattede, “O que é Servo motor e como funciona?” (2022). [Online]. Available: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-servo-motor-e-como-funciona/>. [Acedido em 20 12 2022].
11. P. Alves, “LDR – O que é e como funciona!,” (2022) [Online]. Available: <https://www.manualdaeletronica.com.br/ldr-o-que-e-como-funciona/>. [Acedido em 20 12 2022].
12. S. Shop, “PAINEL SOLAR CANADIAN SOLAR 650W HIKU7 MONO” (2022). [Online]. Available: <https://www.solarshop.pt/painel-solar-canadian-solar-650w-hiku7-mono>. [Acedido em 20 12 2022].