**Universidade dos Açores**

Pós-Graduação em Programação, Robótica e Inteligência Artificial (PRIA)

Relatório de Projeto Experimental

OpenBalance – Plataforma de Equilíbrio com Visão Computacional e Controlo PID

Autor: João Pavão

Docente: Prof. José Cascalho

Ponta Delgada, 14 de junho de 2025

# Resumo

Este relatório apresenta o desenvolvimento do projeto OpenBalance, uma plataforma robótica capaz de equilibrar uma bola através do controlo da inclinação da sua superfície. O sistema recorre a visão computacional para localizar a bola em tempo real e aplica algoritmos de controlo PID para manter a sua posição centrada. Desenvolvido no contexto da unidade curricular de Laboratório de Aplicações em Robótica e Aprendizagem (PRIA), este projeto combina conceitos de automação, controlo e inteligência artificial aplicada, com uma forte vertente pedagógica e open-source. Utiliza componentes como Arduino, servomotores, driver PCA9685 e uma webcam USB, integrados por uma interface gráfica construída em Python com CustomTkinter.

**Palavras-chave:** Visão Computacional, Controlo PID, Arduino, Robótica Educacional, OpenCV, CustomTkinter

# Índice

[Resumo 2](#_Toc200367757)

[Índice 3](#_Toc200367758)

[1. Introdução 4](#_Toc200367759)

[2. Objetivos 5](#_Toc200367760)

[3. Materiais e Montagem Física 6](#_Toc200367761)

[3.1 Tipos 6](#_Toc200367762)

[3.2 Comparat 6](#_Toc200367763)

[4. Arquitetura do Sistema 7](#_Toc200367764)

[4.1 Deteção Visual com OpenCV 7](#_Toc200367765)

[4.2 Controlo PID e Comando da Plataforma 7](#_Toc200367766)

[4.3 Interface Gráfica em Python 7](#_Toc200367767)

[5. Calibração dos Serrvomotores 8](#_Toc200367768)

[6. Testes e Resultados Preliminares 9](#_Toc200367769)

[7. Conclusão e Perspetivas Futuras 10](#_Toc200367770)

[8. Bibliografia e Recursos 11](#_Toc200367771)

[8.1 Bibliografia 11](#_Toc200367772)

[8.2 Webgrafia 11](#_Toc200367773)

[8.3 Prompts utilizados (ChatGPT/OpenAI) 12](#_Toc200367774)

## 1. Introdução

O presente relatório documenta o desenvolvimento do projeto **OpenBalance**, uma plataforma robótica experimental concebida no âmbito da unidade curricular de **Laboratório de Aplicações em Robótica e Aprendizagem (PRIA)** da Universidade dos Açores. O sistema tem como principal objetivo demonstrar, de forma visual e interativa, os fundamentos do controlo automático aplicados a um problema clássico: o equilíbrio dinâmico de uma bola sobre uma superfície inclinável.

A ideia central consiste em permitir que uma bola se mantenha centrada numa plataforma bidimensional, cuja inclinação é controlada por dois servomotores, um em cada eixo (X e Y). A posição da bola é monitorizada em tempo real através de uma **webcam USB**, com processamento de imagem realizado em **Python** utilizando a biblioteca **OpenCV**. A decisão sobre os ângulos de inclinação é determinada por algoritmos de **controlo PID (Proporcional–Integral–Derivativo)**, ajustáveis através de uma **interface gráfica interativa** desenvolvida com **CustomTkinter**.

O OpenBalance não é apenas uma implementação técnica; constitui também uma ferramenta pedagógica e de código aberto, pensada para facilitar o ensino e a aprendizagem de conceitos fundamentais de **automação, controlo, robótica e visão computacional**. A modularidade do sistema permite que seja facilmente replicado, adaptado e expandido, por exemplo para sistemas de maior complexidade como plataformas de Stewart (6 graus de liberdade).

Ao longo deste relatório serão apresentados os objetivos do projeto, os componentes utilizados, a estrutura de hardware e software desenvolvida, bem como as estratégias de calibração e os resultados obtidos. Será ainda feita uma reflexão sobre as potencialidades educativas do projeto e as perspetivas futuras para a sua evolução.

## 2. Objetivos

O projeto **OpenBalance** tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma plataforma robótica educativa capaz de demonstrar o funcionamento de sistemas de controlo em tempo real, com particular enfoque no **controlo PID** e na **visão computacional**. Esta plataforma serve como um modelo físico interativo para o estudo de sistemas dinâmicos, permitindo a aplicação prática de conceitos abordados na unidade curricular de **Laboratório de Aplicações em Robótica e Aprendizagem**.

**Objetivos específicos:**

* **Construir uma plataforma mecânica funcional** que permita a inclinação controlada de uma superfície em dois eixos (X e Y), com servomotores de precisão;
* **Integrar um sistema de aquisição de imagem em tempo real**, utilizando uma webcam USB e a biblioteca OpenCV para deteção da posição de uma bola sobre a plataforma;
* **Implementar algoritmos de controlo PID** para estabilizar a posição da bola no centro da superfície, ajustando dinamicamente os ângulos dos servos;
* **Desenvolver uma interface gráfica interativa (Dashboard)** em Python com CustomTkinter, permitindo ao utilizador ajustar os parâmetros do controlo PID e da deteção de cor (HSV), bem como visualizar o vídeo e interagir com o sistema;
* **Testar e calibrar** o sistema físico e os algoritmos de controlo, otimizando o desempenho para diferentes condições;
* **Documentar o processo de desenvolvimento**, desde a conceção mecânica até à implementação do software, promovendo uma abordagem pedagógica, acessível e reprodutível;
* **Explorar possibilidades de expansão futura**, com destaque para:
  + A **evolução da plataforma para sistemas com três ou mais braços de controlo**, permitindo não só o equilíbrio passivo da bola mas também ações proativas e direcionadas sobre o movimento da mesma;
  + A conceção de um **sistema tipo Stewart** com seis graus de liberdade, oferecendo um campo de controlo tridimensional e potencial para simulações avançadas;
  + A incorporação de **comportamentos mais interativos**, como a **capacidade de “bater” ou impulsionar a bola intencionalmente** para zonas-alvo, baseando-se em inputs visuais e algoritmos de decisão;
  + A **integração com algoritmos de inteligência artificial**, nomeadamente aprendizagem por reforço, para que o sistema aprenda estratégias ótimas de controlo ou interação a partir da experiência acumulada.

Estas perspetivas futuras posicionam o **OpenBalance** como uma plataforma **aberta, escalável e reprodutível**, com potencial para projetos de investigação, ensino avançado e demonstrações interativas em contextos científicos ou educativos. Todo o código-fonte, esquemas eletrónicos, ficheiros de impressão 3D e documentação estão a ser organizados e publicados num **repositório público no GitHub**, promovendo a colaboração, a partilha de boas práticas em robótica educativa e a reutilização do projeto em contextos escolares, académicos ou pessoais. O projeto será disponibilizado sob **licença open source**, incentivando a sua adaptação, evolução e integração em futuras iniciativas.

## 3. Materiais e Montagem Física

### 3.1 Materiais Gerais

Bola leve (ex: esférica de pingue-pongue ou borracha macia)

Contraplacado fino (base da plataforma móvel)

Parafusos, porcas e anilhas M3 e M4

Cabos Dupont, terminais e fita dupla face

Tinta preta fosca (para contraste visual da plataforma)

Calha técnica em PVC (para suporte da webcam)

### 3.2 Eletrónica

Microcontrolador: Arduino UNO (ou compatível)

Módulo controlador de servos: PCA9685 (16 canais, I²C)

Servomotores: 2x DM996 (15 kg·cm, compatíveis com 6 V)

Fonte de alimentação: Fonte regulável 6 V / 72 W (com bornes)

Webcam USB: Câmera genérica HD (fixada em estrutura superior)

Cablagem adicional: fios, conectores macho-fêmea, ficha de alimentação

### 3.3 Estrutura Física e Impressão 3D

Braços articulados (x2): Impressos em PLA, com suporte para servos e encaixes de fixação à base

Suportes laterais: Estrutura rígida para montagem vertical dos servos

Pivô central: Elemento circular ou cónico, também em PLA, que permite rotação e estabilidade da plataforma

Encaixes tipo cavilha: Integrados nos braços para evitar deslizamento lateral

Plataforma móvel: Contraplacado pintado de preto com cruz central branca e borda natural visível (~4 mm) para facilitar a deteção por visão computacional

### 3.4 Montagem e Infraestrutura

Os braços 3D foram aparafusados diretamente aos servos, que por sua vez foram fixados às paredes laterais da base.

A plataforma repousa livremente sobre os braços, encaixando nos pinos e no pivô central para estabilidade e liberdade de movimento.

A webcam foi montada sobre uma calha técnica superior, garantindo uma visão perpendicular e estável de toda a área da plataforma.

O circuito foi montado numa breadboard lateral com ligações ao Arduino e à alimentação externa.

A fonte de alimentação foi cuidadosamente ajustada para fornecer 6 V estáveis e proteger os servos de sobrecargas.

## 4. Arquitetura do Sistema

Este projeto proporcionou uma experiência de aprendizagem significativa ao integrar conceitos teóricos de Aprendizagem Automática com a implementação prática em

O projeto promoveu a reflexão sobre as vantagens e desvantagens dos modelos integrados da HuskyLens em comparação com frameworks externas como

experiência reforçou a importância do "aprender fazendo", especialmente no ensino de IA, robótica e ciência computacional.

### 4.1 Deteção Visual com OpenCV

Embora a HuskyLens funcione de forma autónoma — executando os seus próprios modelos de Inteligência Artificial diretamente no dispositivo — é possível ampliar o

### 4.2 Controlo PID e Comando da Plataforma

Embora a HuskyLens funcione de forma autónoma — executando os seus próprios modelos de Inteligência Artificial diretamente no dispositivo — é possível ampliar o

### 4.3 Interface Gráfica em Python

Embora a HuskyLens funcione de forma autónoma — executando os seus próprios modelos de Inteligência Artificial diretamente no dispositivo — é possível ampliar o

## 5. Calibração dos Serrvomotores

A proposta prática para a demonstração do robô equipado com a HuskyLens, discutida no âmbito da UC de Programação com o Professor Mathias Funck, contempla o desenvolvimento de um conjunto de tarefas interativas baseadas em visão computacional, onde o comportamento do robô é determinado pela interpretação da cena visual captada pela câmara.

## 6. Testes e Resultados Preliminares

Com base na experiência adquirida com a HuskyLens e o Arduino, poderá se desenvolver uma nova versão do projeto, assente numa arquitetura mais robusta e flexível, centrada no Raspberry Pi 5 como unidade de processamento principal. Esta evolução permitirá explorar conceitos mais avançados de robótica e inteligência

Este sistema poderá ser apresentado em mostras científicas e competições educacionais, como o AzoresBot, demonstrando o potencial da aprendizagem baseada em projetos para o ensino de ciência e tecnologia.

## 7. Conclusão e Perspetivas Futuras

Com base na experiência adquirida com a HuskyLens e o Arduino, poderá se desenvolver uma nova versão do projeto, assente numa arquitetura mais robusta e flexível, centrada no Raspberry Pi 5 como unidade de processamento principal. Esta

## 8. Bibliografia e Recursos

### 8.1 Bibliografia

**Inteligência Artificial e Machine Learning**

1. Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.

**Visão Computacional com Python e OpenCV**

1. Chen, J. (2023). *Learn OpenCV with Python by Examples: Implement Computer Vision* (2nd ed.).
2. Chesterfield, G. (2024). *Advanced Image Processing with Python and OpenCV*.

**Arduino, Sensores e Robótica Educativa**

1. Ziemann, V. (2023). *A Hands-On Course in Sensors Using the Arduino and Raspberry Pi* (2nd ed.).
2. Guillen, G. (2024). *Sensor Projects with Raspberry Pi: IoT and Digital Image Processing* (2nd ed.).

**Raspberry Pi e Robótica Avançada**

1. Cazemier, F. (2024). *The Comprehensive Guide to Build Raspberry Pi 5 Robotics Projects*.

### 8.2 Webgrafia

- [Wiki Oficial da HuskyLens - DFRobot]

### 8.3 Prompts utilizados (ChatGPT/OpenAI)

- 'Cria uma estrutura de relatório para um projeto com a HuskyLens relacionado com Machine Learning.'