Andrian Moldovan

Licenciado em Ciências da Engenharia Eletrotécnica
e de Computadores

LabBox – dispositivo remoto de aquisição de dados

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Doutor Filipe de Carvalho Moutinho, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor Luís Augusto Bica Gomes de Oliveira, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Doutora Anikó Katalin Horváth da Costa, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

Vogal: Doutor Filipe de Carvalho Moutinho, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2021

LabBox – dispositivo remoto de aquisição de dados

Copyright © Andrian Moldovan, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedicado a comunidade científica

Agradecimentos

Esta dissertação conta o apoio de inúmeras pessoas por meio de apoios e incentivos a qual quero agradecer a todos que de certa forma influenciaram este processo. Expresso a minha gratidão a faculdade de ciências e tecnologias pelo acolhimento e hospitalidade ao longo destes anos bem como a todos os professores que fizeram parte deste percurso.

Ao Professor Filipe Moutinho por me ter aceite para orientação da etapa final do meu percurso académico e pelo fantástico acompanhamento e preocupação que demostrou na execução desta dissertação.

Ao apoio recebido da parte dos pais que me ajudaram a concluir este curso. Obrigado ao meu pai por fingir que é um corredor de fórmula 1 para me levar ao comboio das 7h58 da manhã. E um obrigado a minha mãe por me cozinhar deliciosos pratos para eu poder levar para a faculdade.

Um especial obrigado a todos os meus colegas de faculdade e amigos que acompanharam e ajudaram no desenvolvimento do projeto.

Um especial obrigado a toda equipa do FabLab que apoiou, financiou o projeto e que se mostraram sempre disponíveis durante o desenvolvimento do dispositivo fornecendo e o acesso ao espaço e os seus serviços.

Resumo

A realização de um trabalho laboratorial ou estudo científico faz-se frequentemente acompanhar de um processo experimental com a finalidade de gerar resultados que alicercem o respetivo projeto. No entanto, nesta importante etapa o acesso a instrumentação adequada à fase de experimentação em estudos de análise de dados é tipicamente limitado por condições geográficas ou financeiras.

A capacidade de desenvolvimento de dispositivos únicos com integração de unidades de processamento acompanhadas de diversos sensores abre possibilidades de desenvolvimento de aparelhos orientados para as necessidades do sistema de estudo com menor custo e com resultados semelhantes aos produtos comerciais. Deste modo propôs-se o desenvolvimento de um sistema autónomo de aquisição de dados de baixo custo, de pequenas dimensões e bastante flexível. O dispositivo LabBox, ou Laboratory Box, incorpora três sensores diferentes, respetivamente de temperatura, magnético e luminosidade. O dispositivo está apto a operar localmente ou remotamente armazenando os dados dos sensores em função do tempo na memória interna do dispositivo permitindo realizar uma análise posterior dos mesmos sob a forma de tabelas ou gráficos Excel.

Palavras-chave: Data loggers, Arduino, Aquisição de dados, Microcontroladores

Abstract

Both lab work and scientific research are frequently accompanied by an experimental process with the aim of generating results that support the corresponding project. However, in this important step, access to appropriate instrumentation for the data analysis testing phase is typically limited either by geographical or financial conditions.

The ability to develop standalone devices integrating processing units accompanied by multiple sensors opens up possibilities for the development of devices geared towards the needs of the study system at a lower cost with results equivalent to those of similar commercial products. Consequently, we propose the development of an autonomous low-cost data acquisition system, small in size and fairly flexible. The so-called LabBox or Laboratory Box device integrates three different sensors, for temperature, magnetism and light, respectively. The device is apt to work both local and remotely storing the data from the sensors as an aggregate over time in the internal memory device, allowing for its further analysis in tabular or Excel spreadsheet form.

Keywords: Data loggers, Arduino, Data acquisition, Microcontrollers

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1 INTRODUÇÃO ..... - 1 -
1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO ..... - 1 -
1.2 PROPOSTA ..... - 2 -
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO ..... - 3 -
2 TRABALHOS RELACIONADOS ..... - 5 -
2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE LABORATÓRIOS REMOTOS ..... - 5 -
2.2 ARQUITETURA DE LABORATÓRIOS REMOTOS ..... - 6 -
2.3 SOFTWARE PARA IMPLEMENTAÇÃO DE RL ..... - 7 -
2.3.1 LabVIEW ..... - 8 -
2.3.2 TwinCAT ..... - 9 -
2.3.3 Over The Air Programing ..... - 9 -
2.4 TECNOLOGIAS PARA INTEGRAÇÃO EM RL ..... - 10 -
2.4.1 Internet of Things ..... - 10 -
2.4.2 Maquete em modelo digital ..... - 11 -
2.5 DATA LOGGERS ..... - 12 -
3 LABBOX ..... - 15 -
3.1 INTRODUÇÃO AO LABBOX ..... - 15 -
3.2 FUNCIONALIDADES ..... - 15 -
3.2.1 Controlo e Amostragem ..... - 15 -
3.2.2 Firmware LabBox ..... - 16 -
3.2.3 Aplicação de configuração PC-LabBox ..... - 17 -
3.2.4 Rotina de controlo remoto ..... - 18 -
3.3 CAMPOS DE DADOS, ESTRUTURA E MEMÓRIA ..... - 20 -
3.4 LABBOX PCB ..... - 21 -
3.5 ESQUEMÁTICO ..... - 22 -
3.5.1 Regulador de tensão ..... - 22 -
3.5.2 Fonte de alimentação externa ..... - 23 -
3.5.3 Sensor de temperatura ..... - 23 -
3.5.4 Botão de pressão ..... - 25 -
3.5.5 Sensor de luz LDR ..... - 25 -
3.5.6 Conexões com o microcontrolador ..... - 27 -
3.5.7 Sensor magnético ..... - 28 -
3.5.8 Indicadores de luz LED ..... - 28 -
3.5.9 Relógio de tempo real (RTC) ..... - 29 -
3.5.10 Bateria de alimentação do relógio ..... - 30 -
3.5.11 Conexão do cartão SD ..... - 30 -
3.6 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSA (PCB) ..... - 31 -
3.7 BUILD OF MATERIAL ..... - 33 -
3.8 CONEXÕES COM O MICROCONTROLADOR ..... - 35 -

3.9 ALIMENTAÇÃO E POTÊNCIA ..... - 37 -
4 VALIDAÇÃO E TESTES ..... - 39 -
4.1 ESTUDO TÉRMICO EM APARELHOS RESISTIVOS ..... - 39 -
4.2 RASTREIO DA ILUMINÂNCIA E DA TEMPERATURA DO TELHADO DE UM EDIFÍCIO ..... - 43 -
4.3 CONTAGEM DE ENTRADAS DE PESSOAS ..... - 46 -
4.4 TESTE DE ILUMINÂNCIA DE ESPAÇOS PARA EFEITOS DE DIMENSIONAMENTO DE LUMINÁRIAS ..... - 47 -
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS ..... - 53 -
6 BIBLIOGRAFIA ..... - 55 -

Lista de Figuras

FIGURA 2.1 - CLASSIFICAÇÃO DE LABORATÓRIOS. - 6 -
FIGURA 2.2 - ESQUEMA GENÉRICO DE LABORATÓRIO DE BASE WEB. - 7 -
FIGURA 2.3 - TECNOLOGIAS USADAS PARA *MIDDLEWARE* E INTERFACE GRÁFICA [2008]. - 8 -
FIGURA 2.4 - HYPE CYCLE FOR EMERGING TECHNOLOGIES, 2018 - 11 -
FIGURA 3.1 - FLUXOGRAMA DE OPERAÇÃO DO *FIRMWARE* LABBOX - 17 -
FIGURA 3.2 - JANELA DE CONEXÃO SERIAL DO PC-LABBOX - 18 -
FIGURA 3.3 - PÁGINA INICIAL DO PC-LABBOX SOFTWARE - 18 -
FIGURA 3.4 - PÁGINA DE INTERFACE GRÁFICA DE CONFIGURAÇÃO DE E-MAILS AUTORIZADOS PARA O CONTROLO REMOTO - 19 -
FIGURA 3.5 - PÁGINA DE INTERFACE GRÁFICA DE CONFIGURAÇÃO DO E-MAIL DE GESTÃO - 20 -
FIGURA 3.6 - ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO DO DISPOSITIVO LABBOX À DISTÂNCIA - 20 -
FIGURA 3.7 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO REGULADOR DE TENSÃO DE 5 VOLTS - 23 -
FIGURA 3.8 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO CONECTOR DE ALIMENTAÇÃO EXTERNA - 23 -
FIGURA 3.9 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA - 24 -
FIGURA 3.10 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO BOTÃO DE PRESSÃO - 25 -
FIGURA 3.11 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO SENSOR DE LUZ LDR - 26 -
FIGURA 3.12 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO MICROCONTROLADOR - 27 -
FIGURA 3.13 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO SENSOR MAGNÉTICO - 28 -
FIGURA 3.14 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DE LUZES DE INDICAÇÃO LED - 29 -
FIGURA 3.15 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO RELÓGIO RTC DS1307 - 30 -
FIGURA 3.16 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DA BATERIA DE ALIMENTAÇÃO DO RELÓGIO RTC - 30 -
FIGURA 3.17 - ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO CARTÃO SD - 31 -
FIGURA 3.18 - ITERAÇÕES DA PLACA PCB DO DISPOSITIVO LABBOX - 32 -
FIGURA 3.19 - DISPOSITIVO LABBOX V2 E A PCB DE EXTENSÃO DE TEMPERATURA - 32 -
FIGURA 4.1 - INSTALAÇÃO DOS TESTES DE AQUECIMENTO DA BASE DE IMPRESSÃO DA BLOCKS - 40 -
FIGURA 4.2 - TESTES DE AQUECIMENTO DA BASE DE IMPRESSÃO DA BLOCKS ATÉ 50ºC GRAUS - 41 -

FIGURA 4.3 - GRÁFICO DE AQUECIMENTO DA BASE DE IMPRESSÃO DA BLOCKS SEGUNDO UMA CRONOMETRAÇÃO VISUAL ..... - 43 -
FIGURA 4.4 - INSTALAÇÃO DO PROJETO LABBOX NO TELHADO DE UM EDIFÍCIO DE HABITAÇÃO NA LOCALIDADE DE SETÚBAL PARA MONITORIZAÇÃO DA ILUMINÂNCIA E DA TEMPERATURA. ..... - 43 -
FIGURA 4.5 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA E DA ILUMINÂNCIA DA SUPERFÍCIE DE UM EDIFÍCIO DE UMA HABITAÇÃO NA LOCALIDADE DE SETÚBAL ..... - 45 -
FIGURA 4.6 - INSTALAÇÃO DO DISPOSITIVO LABBOX NA PORTA DE ENTRADA DO FABLAB FCT UNL - 46 -
FIGURA 4.7 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO INCORPORADO NA PORTA DE ENTRADA DO FABLAB FCT UNL AO LONGO DE 24H ..... - 47 -
FIGURA 4.8 - REPRESENTAÇÃO DA SALA DE TRABALHO DA MÁQUINA DE CORTE LASER E DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DA ILUMINAÇÃO NO FABLAB FCT UNL. ILUSTRAÇÃO DA SALA DESENHADA À ESCALA. ..... - 48 -
FIGURA 4.9 - FOTOGRAFIA DA SALA DE TRABALHO DO FABLAB FCT UNL ..... - 48 -
FIGURA 4.10 - ESTUDO A DA ILUMINÂNCIA DA SALA DO FABLAB FCT UNL ..... - 49 -
FIGURA 4.11 - ESTUDO B DA ILUMINÂNCIA DA SALA DO FABLAB FCT UNL ..... - 50 -
FIGURA 4.12 - ILUMINAÇÃO INCIDENTE NA JANELA ADJACENTE À SALA DAS EXPERIÊNCIAS ..... - 51 -

Lista de Tabelas

TABELA 3.1 - ESTRUTURA DE DADOS ..... - 21 -
TABELA 3.2 - LISTA DOS COMPONENTES E A SUA DESIGNAÇÃO ..... - 33 -
TABELA 3.3 - LIGAÇÕES DOS SENSORES COM A UNIDADE DE PROCESSAMENTO ..... - 35 -
TABELA 3.4 - TABELA DE CONSUMOS ENERGÉTICOS DO DISPOSITIVO LABBOX ..... - 37 -
TABELA 4.1 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS DE AQUECIMENTO DA BASE DE IMPRESSÃO DA BLOCKS - 42 -
TABELA 4.2 - TABELA DE RECOMENDAÇÕES DE ILUMINAÇÃO DE ESPAÇOS E ZONAS. ..... - 51 -

A

Acrónimos e Siglas

ADC – Analog to Digital Converter
BMS – Battery Management System
BOM – Build of Material / Bill of Material
COM – Communication port
CS – Chip Select
CSV – Comma Separated Values
DAS - Data Acquisition System
EJS - Easy Java Simulation
FAT16 – File Allocation Table 16 bits
FAT32 – File Allocation Table 32 bits
FR4 - Flame Retardant 4
GND – Ground
GPIO – General Purpose Input/Output
GUI – Graphic User interface
I/O – Input/Output
IDE - Integrated Development Environment
IMAP - Internet Message Access Protocol
IoT – Internet of Things
LDR – Light Dependent Resistor
LED – Light Emited Diode
MCU – Micro Controller Unit
MISO – Master Input Slave Output
MOQ – Minimum Oreder Quantity
MOSI – Master Output Slave Input
OTA – Over the Air
PCB – Printed Circuit Board
PLA – Polylactic acid
REST - Representational State Transfer
RL - Remote Laboratory
RTC - Real Time Clock

SCK – Serial Clock (SPI)
SCL – Serial Clock (I2C)
SD – Secure Digital (card)
SDA – Serial Data
SI - Sistema Internacional
SMD – Surface Mount Device
SMT - Surface Mount Technology
SOAP - Simple Object Access Protocol
SoC – System on Chip
THT – Through the Hole Technology
UART - Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
Vbat – Battery Voltage
VCC – Voltage Common Collector
VI – Virtual Instrumentation
VL – Virtual Laboratory
WIFI - Wireless Fidelity

1

1 Introdução

Atualmente vivemos no mundo de evolução espontânea e acentuada da tecnologia no início do século XXI, a qual gera um tremendo impacto na sociedade contemporânea. Por conseguinte desta notável evolução tecnológica, hábitos e costumes de vários indivíduos e grupos socias mudaram drasticamente, tornando indispensável uma reforma e adaptação dos sistemas de ensino de modo a instruir as massas e a acomodar o progresso [1]. O acesso a tecnologia de laboratório para realização de estudos experimentais ou aquisição de dados não é vulgarmente acessível a qualquer um agente com essas necessidades devido a obstáculos vários, inclusive de carácter geográfico ou financeiro uma vez que o custo, o acesso aos instrumentos comercias em questão e as propriedades dos mesmos no contexto laboratorial constituem uma barreira ao acesso a instrumentação adequada.

A capacidade de um individuo poder desenvolver dispositivos próprios, tais como controladores e sistemas de aquisição de dados, promete uma solução viável para o controlo e rastreio da informação laboratorial. Atualmente é possível construir pequenos laboratórios remotos de baixo custo [2] integrando diversos sensores e unidades lógicas de processamento para monitorização, controlo e tratamento de dados.

1.1 Enquadramento e motivação

No desenvolvimento da pandemia global COVID-19 o trabalho remoto foi sendo exponencialmente forçado pelas instituições escolares e universidades e o acesso aos laboratórios, por sua vez, restringido [3]. Esta necessidade crescente impulsionou a procura de soluções como a integração de dispositivos de aquisição de dados com capacidade de controlo remoto [4]. Docentes, alunos e investigadores de diversas ciências procuram enriquecer os seus estudos e projetos e adaptar novas formas de fazer ensaios laboratoriais não só no enquadramento das

suas aulas. Surge também a necessidade de compreender comportamentos de certos sistemas através do rastreio de diversos dados no contexto dos seus trabalhos laboratoriais. Essa busca pressiona a urgência do indivíduo em criar dispositivos próprios para integração nos seus sistemas. Dispositivos esses com capacidade autónoma de aquisição, tratamento, rastreio e monitorização de dados que prometem satisfazer as suas necessidades e experiências laboratoriais e ultrapassar limitações geográficas.

O laboratório de fabricação FabLab da faculdade de ciência e tecnologia da universidade nova de lisboa, FCT UNL, promove *workshops* de várias temáticas de maneira a expandir o conhecimento de variadas técnicas de fabricação digital. Neste cenário, a presença de inúmeros docentes, investigadores e alunos a participar nos cursos teórico-práticos para o desenvolvimento de sistemas integrados nas placas de circuito impressas (PCB) e programação de Arduino, tornaram-se nítidas as dificuldades sentidas pelos participantes no desenvolvimento de sistemas integrados. A exigência de procura pelo conhecimento necessário para o desenvolvimento de dispositivos autónomos, com possibilidade de registo de dados das pesquisas dos investigadores, motivou o desenvolvimento desta dissertação de maneira a ajudar e instruir esta comunidade científica.

1.2 Proposta

Face à situação acima exposta esta tese propõe o desenvolvimento de um dispositivo remoto de aquisição de dados. Pretende-se desenvolver um dispositivo com capacidade de aquisição e rastreio de dados com funcionalidade de ser controlado remotamente com uma arquitetura diferente àquela que geralmente é concebida nos dispositivos remotos desenvolvidos por outros autores [5]. Esta arquitetura terá a capacidade de ser controlada remotamente por troca de mensagens utilizando os servidores de *e-mails* já existentes, com o propósito de reduzir os custos e a manutenção a longo prazo, em resposta aos já existentes métodos convencionais dos laboratórios remotos ligados a servidores que disponibilizam serviços web, nomeadamente através de Simple Object Access Protocol (SOAP) ou Representational State Transfer (REST).
Neste contexto propõe-se: A criação de um modelo de laboratório robusto constituído por uma placa PCB oferecendo portabilidade por meio das suas dimensões reduzidas; Usufruir da arquitetura a base de Arduino de modo a manter o baixo custo, a facilidade de operação e versatilidade na configuração de cada estudo; Uma aplicação que permite a configuração do laboratório e a interação remota, através de email, por forma a permitir iniciar e terminar a aquisição de dados; A utilização de diversos sensores para realizar o rastreio dos dados ao longo do tempo com capacidade de armazenamento local.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação compreende quatro capítulos, que por sua vez estão organizados em várias seções e subsecções. As figuras e as tabelas apresentadas ao longo desses capítulos são numeradas como A.B onde A se refere ao número do capítulo e B à respetiva ordem.

A dissertação está estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 2 - Descrição do estado da arte e enquadramento.
- Capítulo 3 – Desenvolvimento do trabalho realizado.
- Capítulo 4 – Validação do projeto via suporte de testes práticos.
- Capítulo 5 – Conclusão e abordagem a trabalhos futuros.

2

2 Trabalhos relacionados

Esta capítulo introduz tecnologias aplicadas em laboratórios remotos e *data loggers*. Demostram-se trabalhos relacionados de autores para fim de dar a conhecer as tecnologias de desenvolvimento nesta área.

2.1 Conceitos Básicos de laboratórios remotos

A atenção ao desenvolvimento de laboratórios remotos nas últimas décadas levou a uma variedade de experiências remotas. Alguns exemplos de laboratórios abrangem tópicos como o controlo do nível de água num sistema de três tanques [6]; sistemas de controlo de troca de calor [7]; controlo do movimento de robôs móveis [8]; jogos de basquetebol remotos e simulação de semáforo de leds com controlo de uma cancela para o controlo de tráfego [2].

Um laboratório online pode ser classificado como laboratório remoto (RL) ou laboratório virtual (VL). Um laboratório remoto usa um laboratório real com capacidade de ser controlado através da rede de internet. Já um laboratório virtual cria simulações das experiências que se pretendem desenvolver e que imitam o comportamento do mundo físico. Os resultados obtidos por meio de laboratórios virtuais devem ser muito similares aos do laboratório real, pois estes se baseiam em cálculos matemáticos que tentam recriar o ambiente real. Os laboratórios virtuais mais avançados incluem o processamento de acontecimentos com casos reais ocorridos em laboratórios físicos que contribuem para um sistema mais real e confiável tendo em conta alguns comportamentos dos componentes reais [9].

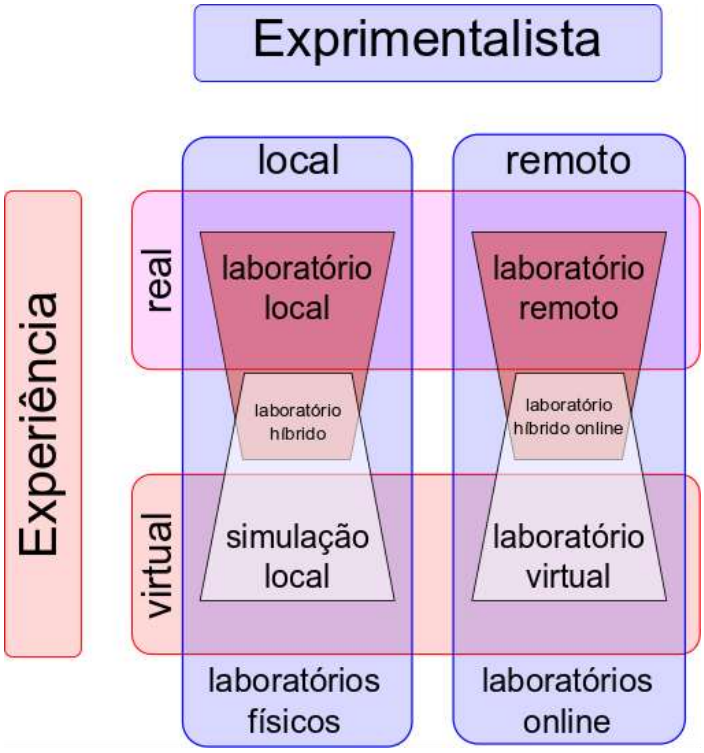

Figura 2.1 - Classificação de laboratórios. Adaptado de [9].

Um laboratório pode ser físico, online ou híbrido. Os laboratórios físicos são classificados em duas categorias distintas: laboratórios tradicionais, conhecidos por laboratórios reais; e laboratórios móveis, os quais são hospedados em veículos, como barcos, aviões ou carros. Por sua vez, um laboratório online pode ser classificado como remoto ou virtual. Os laboratórios que conjugam as duas tecnologias, ou seja, um laboratório físico com acesso online, são conhecidos por laboratórios híbridos. Um laboratório híbrido é assim composto pela combinação de: laboratórios físicos, por exemplo laboratório estacionário ou móvel; laboratórios on-line, por exemplo um laboratório remoto e um virtual; ou uma combinação de um laboratório físico e um laboratório on-line [10]. Alguns conjuntos possíveis de combinação estão representados na Figura 2.1.

2.2 Arquitetura de laboratórios remotos

Muitos dos laboratórios remotos implementados seguem o mesmo esquema genérico da arquitetura para implementação dos laboratórios remotos. A interação entre o experimentalista e o laboratório através de uma interface gráfica (GUI) (a qual permite aceder ao laboratório e ter acesso a informação da experiência) possibilita a comunicação com o servidor do laboratório que, por sua vez, através do controlador da planta está conectado com o intuito de fornecer os

serviços implementados. Na Figura 2.2 pode observar-se o esquema genérico aplicado aos laboratórios remotos.

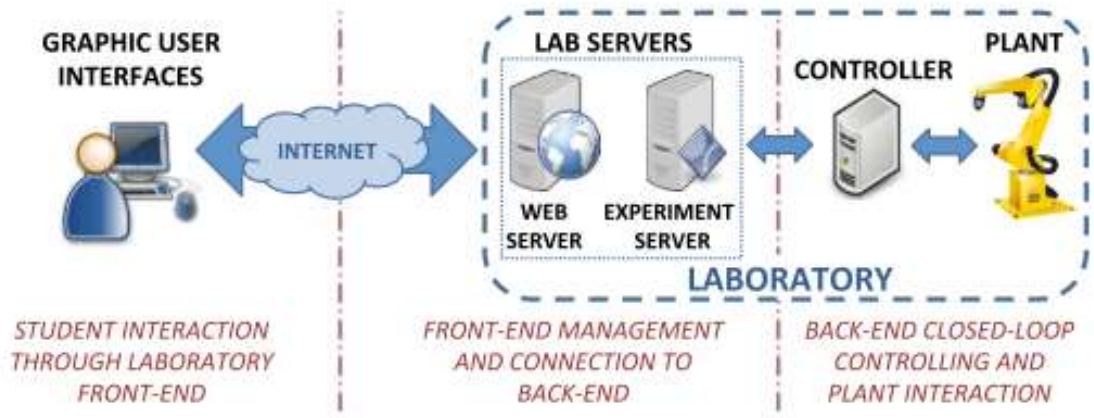

Figura 2.2 - Esquema de laboratório de base web. Fonte: [5]

2.3 Software para implementação de Laboratórios Remotos

Para implementar os elementos do laboratório de maneira que este esteja capaz de comunicar e operar remotamente é necessário integrar várias linguagens e tecnologias de programação. Em muitos laboratórios a programação está vulgarmente associada ao uso de [5]:

- Implementação de uma interface gráfica para os utilizadores. O funcionamento de uma página web poderá ser desenvolvida com recursos de Java Script, HTML+CSS, PHP e outras linguagens de programação. Em alguns casos é usado Easy Java Simulations (EJS) [11] para o desenvolvimento interativo da interface gráfica de java applets, que corre a partir da página do laboratório.
- Pacotes de software como o LabVIEW [12] ou TwinCAT [13] são os softwares mais populares para controlo da instrumentação, aquisição de dados e automação. Devido à necessidade de aquisição de uma licença outra alternativa poderão ser as linguagens de programação mais habituais como C#, Phyton que são capazes de desenvolver controladores robustos em tempo real ou de baixo custo.
- Uma grande variedade de tecnologias para servidores de laboratório, alterando aplicações básicas que conectam a interface gráfica e o controlador, ferramentas para hospedar a página do laboratório, gestão de base de dados (SQL), manipulação de acesso colaborativo, agenda e fila de acesso ao laboratório e monitorização de vídeo.

Uma grande variedade de softwares proporcionam a capacidade de implementar o controlo e interface gráfica de laboratórios remotos tal como se pode observar na Figura 2.3. Muitos laboratórios com a implementação EJS com java applets possuem a mesma desvantagem das novas atualizações do Google Chrome, e outros browsers, de não suportarem os seus applets, pois o suporte do mesmo foi interrompido em setembro de 2015.

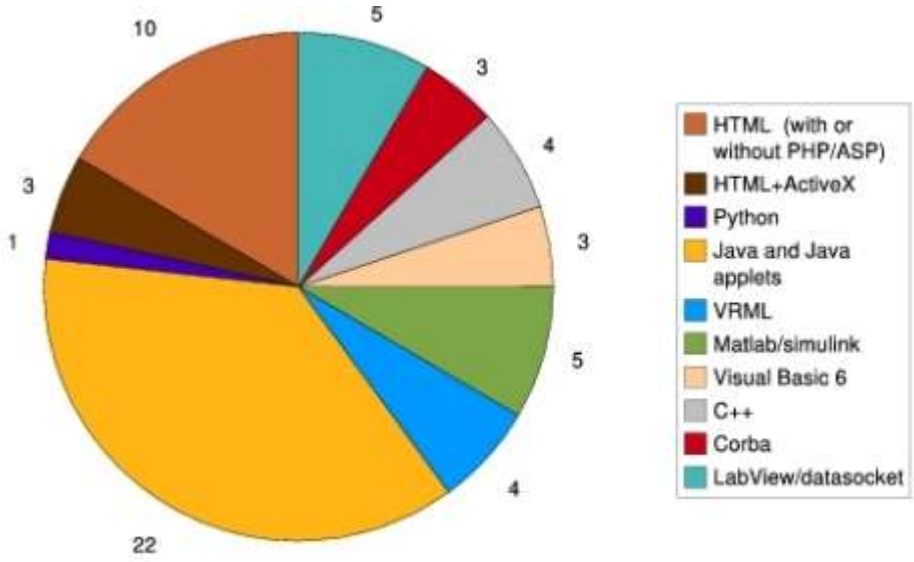

Figura 2.3 - Tecnologias usadas para *middleware* e interface gráfica [2008]. Fonte [14].

2.3.1 LabVIEW

Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, ou LabVIEW, é um ambiente de programação gráfica desenvolvida pela *National Instruments* [12] em 1968. O LabVIEW foi desenvolvido para aquisição de dados, controlo da instrumentação e automação industrial em uma variedade de plataformas, incluindo Microsoft Windows, vários tipos de UNIX, Linux e Mac OS X. Todavia, as últimas versões do LabVIEW permitem que os utilizadores façam uso para muitos outros propósitos tais como: controlo de processos; automação industrial; modelagem e simulação; processamento de sinais digitais; operação e controlo remoto; programação em tempo real e entre outras funcionalidades. Os programas são desenvolvidos com uma linguagem visual denominada “G”, a linguagem gráfica do LabVIEW. Os arquivos de código têm a extensão ".vi", que é uma abreviação de "*virtual instrument*" (Instrumentos Virtuais) devido às origens relacionadas à instrumentação. O ficheiro é composto pela conexão de vários blocos, bibliotecas existentes de blocos para vários propósitos, respetivamente: visão, I/O hardware, cálculos matemáticos, simulação, protocolos da Internet, controlo de processos, acesso a bancos de dados, etc [15]. Uma das principais vantagens para usar o LabVIEW está na sua simplicidade para utilizadores com pouco conhecimento de programação, pois podem desenvolver programas

sofisticados, até então impraticáveis de escrever usando outras linguagens de programação mais habituais. O LabVIEW oferece também muitos complementos e kits adicionais de ferramentas [16].

2.3.2 TwinCAT

The Windows Control and Automation Technology, ou TwinCAT, é o núcleo do sistema de controlo. É uma ferramenta usada para desenvolver software para diferentes tipos de controladores industriais, executar o software desenvolvido em computadores adequadamente configurados e observar ou modificar os valores das variáveis do controlador durante a sua execução. O sistema de software TwinCAT transforma praticamente qualquer sistema baseado em PC e fá-lo em tempo real. A versão 3.0 do TwinCAT foi integrada no Microsoft visual studio e as linguagens do programa do TwinCAT seguem o padrão internacional (IEC61131-3) [17].

2.3.3 Over The Air Programing

A capacidade de reprogramar dispositivos a distância traz a vantagem de reconfigurar o comportamento dos dispositivos bem como realizar atualizações no *firmware* do microcontrolador (MCU). A implementação de dispositivos num ambiente remoto terá também de haver um modo de reconfigurar o funcionamento do controlador através da rede de internet. Porém existem muitos casos de sistemas que são implementados em locais de difícil ou impraticável acesso a um operador ou técnico que pretenda fazer uma atualização do sistema. Este desafio aliado à necessidade de atualização do *software*, fazem com que muitos sistemas exijam a existência de suporte para atualizações over-the-air (OTA). Uma atualização OTA substitui o *software* no microcontrolador ou microprocessador do sistema incorporado por um novo *software* [18]. Esta tecnologia é mais familiarizada pelas pessoas com acesso às atualizações do OTA nos seus dispositivos móveis. Uma atualização OTA substitui o software atual num dispositivo por um novo software.

Grande parte do processo de atualização OTA engloba a transferência do novo *software* do servidor para o cliente. O software é transferido como uma sequência de bytes depois de ter sido convertido num formato binário a partir do formato de origem. Esse processo de conversão compila os ficheiros de código-fonte (por exemplo, c ou cpp), vincula-os num ficheiro executável (por exemplo, exe ou elf) e, em seguida, o executável é convertido em um formato de arquivo binário portátil (por exemplo, bin ou hex). Esses formatos de ficheiros que contêm uma sequência de bytes pertencem a um endereço específico na memória do microcontrolador. No caso da atualização do OTA, os dados são o novo *software* em formato binário e normalmente esses ficheiros são muito grandes para enviar de uma única transferência do servidor para o cliente, o que significa que o ficheiro binário precisará de ser dividido em pacotes separados.

2.4 Tecnologias para integração em RL

As tecnologias de fabricação e as modernas tecnologias de informação e comunicação são fusão do que representa a indústria 4.0. O motivo por trás desse desenvolvimento é a rápida digitalização da indústria e da sociedade. A miniaturização e a diminuição de custos permitem uma maior integração de tecnologias da informação, comunicação e sensores até nos em pequenos produtos os quais passam a conseguir executar funções de registo do ambiente em que se encontram. Os produtos começam a tornar-se dispositivos inteligentes constituintes da *internet-of-things* (IoT). A possibilidade de processar e comunicar esses dados permitem a criação de *Digital Twins*.

2.4.1 Internet of Things

A tecnologia de ligar todas as coisas à rede, ou internet das coisas (IoT), é uma tecnologia emergente e, de acordo com a curva de Gartner, a proximidade do pico da expetativa como se observa na Figura 2.4, prevê a exponencial expansão dessa tecnologia nos próximos anos. Atualmente já é estimado que o número de aparelhos inteligentes que estarão conectados à internet será de 20,4 biliões de dispositivos no ano de 2020 [19].

IoT é um conceito que se refere à conexão digital de dispositivos ligados à rede de internet. É considerado um dos mais importantes fatores-chave para a implementação da Indústria 4.0 e para a transformação digital das empresas [20].

O conceito de ter dispositivos ligados à rede numa planta experimental de um laboratório permite o acesso individual a cada sistema inteligente, tornando possível obter serviços individualmente com os vários sistemas de aquisição de dados que estão inseridos no laboratório. Os aparelhos terão capacidade da análise, monitorização e o tratamento da informação por eles recolhida, e para tal existem plataformas de controlo como: *Thingsboard* [21], uma plataforma de recolha de dados, processamento, visualização e gestão do dispositivo que combina escalabilidade, tolerância a falhas e desempenho; *ThingSpeak* [22], uma plataforma de serviço a análise de IoT que permite agregar, visualizar e analisar fluxos de dados. É frequentemente usada para prototipagem e teste de sistemas de IoT que requerem análise.

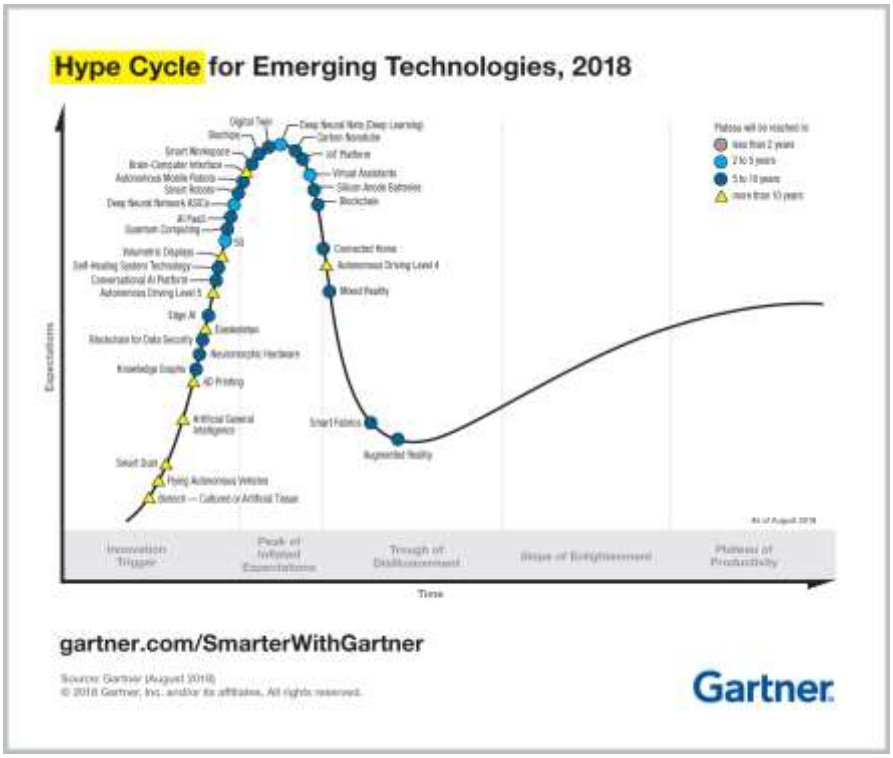

Figura 2.4 - Hype cycle for emerging technologies, 2018 Fonte: [23]

2.4.2 Maquete em modelo digital

De modo que utilizador tenha maior precessão do dinamismo e dos acontecimentos da fábrica é importante fornecer a informação do estado da fábrica. Essa informação pode ser transmitida de forma de texto escrito, vídeo ou imagem ou representação gráfica da maquete. Podemos ter uma réplica digital da maquete que representa um digital twin. Segundo [24] a definição de um digital twin é:

> "*The digital twin is a comprehensive digital representation of an individual product. It includes the properties, condition and behavior of the real-life object through models and data."*

O digital twin é uma representação digital de um produto ou dispositivo único de uma simulação física e probabilística integrada num sistema construído com conjunto de dados disponíveis do seu comportamento físico que podem simular em tempo real a representação do seu gêmeo real correspondente no ambiente implementado [24]. Esta tecnologia extremamente interessante do ponto de vista de implementação em laboratórios remotos. As experiências podem ser recriadas digitalmente com todas as suas caraterísticas de funcionamento e propriedades para monitorização das suas funcionalidades em ambientes digitais.

A tecnologia digital Twin é uma tecnologia de grande relevância nos próximos anos de acordo com a curva de Gartner tal como se observa na Figura 2.4.

2.5 Data loggers

Este capítulo introduz trabalhos desenvolvidos por outros autores de dispositivos relacionados de aquisição de dados, chamados *data loggers*.

Os dispositivos de aquisição de dados são sistemas eletrónicos incorporados com pelo menos uma unidade de processamento e diversos sensores para leitura de dados externos e ambientais [25] tais como temperatura, humidade, luminância, aceleração e outros. A gestão da informação pode diferir de diferentes aplicações e sistemas, mas geralmente a aquisição de valores passa por um tratamento de informação antes de ser guardada em memória ou enviada para outro dispositivo. É habitual incorporar dispositivos de memória tais como os cartões SD, com formato de FAT16 ou FAT32 [26], para o armazenamento de dados pela sua simplicidade de implementação e baixo custo.

Quando falamos na implementação de *data loggers* remotos geralmente isto pode referir-se que o dispositivo tem a capacidade autónoma na aquisição dos dados com capacidade energética interna, em muitos casos baterias, dando flexibilidade da instalação em qualquer espaço geográfico. Outra noção de *data loggers* remotos é a capacidade de estes serem controlados ou serem capazes de enviar informação remotamente sem necessidade de intervenção podendo ou não depender de uma fonte de alimentação fixa.

Devido a implementação da arquitetura base de Arduino há uma forte comunidade de criação de dispositivos de aquisição de dados. Deste modo existe várias implementações de diferentes dispositivos com características semelhantes.

Nem todos os *data loggers* oferecem alguma capacidade de interface gráfica de controlo ou monitorização dos dados em tempo real mas existem autores que implementam ecrãs LCD [27] para dispor alguns dados ou opções de controlo ao utilizador. Uma das capacidades mais cruciais na aquisição dos dados é associá-los relativamente ao instante de aquisição. Os relógios de tempo real (RTC) são circuitos integrados (IC) que possibilitam a contagem de segundos, minutos, horas, dias, meses, anos e até dias de semana desta maneira enriquecendo os dados recolhidos.

O problema do custo elevado de opções comercias de *data loggers* já é presente na comunidade científica e é uma das principais razões para a criação de dispositivos próprios. Os sistemas desenvolvidos abrangem a monitorização da produção de eletricidade e das condições atmosféricas nos painéis fotovoltaicos [28], bem como a previsões de geração de energia [29], sendo estes sistemas desenvolvidos tendo por base sistema de Arduino. Outros exemplos incluem a monitorização dos níveis de gases como dióxido de nitrogénio, monóxido de carbono,

dióxido de enxofre ozono presentes no ar. Um sistema que também se baseia na base de arquitetura de Arduino com capacidade de conexão direta a internet através do modulo Wi-fi (SoC) [30].

3

3 LabBox

Este capítulo introduz o desenvolvimento do projeto proposto. As secções estão organizadas para dar a entender o processo e as capacidades do projeto.

3.1 Introdução ao LabBox

O projeto LabBox, ou *Laboratory Box* por extenso, é um sistema que incorpora três sensores e um relógio interno (RTC) para registo periódico de dados de acordo com o tempo de amostragem, para consequente rastreio da informação recolhida pelos sensores em função do tempo. Esses dados são armazenados na memória de um cartão SD e podem ser transferidos para o computador. Uma das grandes potencialidades da aquisição de dados através do dispositivo é a sua capacidade de fazer análise de vários sistemas ao longo do tempo. A construção de gráficos possibilita o estudo da informação assim como retirar conclusões no decorrer do tempo da amostragem. Esta implementação tem inúmeras aplicações interessantes a consultar no desenrolar do documento.

3.2 Funcionalidades

As capacidades do dispositivo refletem-se na operação do dispositivo. Esta secção dedicar-se-á a enumerar e abordar as funcionalidades principais do projeto do processo de criação do seu *firmware* e na comunicação com o *software* do computador concebido.

3.2.1 Controlo e Amostragem

Dar início à amostragem de dados será possível através do botão físico de pressão implementado diretamente no circuito do projeto. Para tal, será necessária a presença do utilizador.

Também é possível controlar a amostragem remotamente através da aplicação do computador. O software do computador possibilita o controlo remoto do dispositivo desde que este esteja conectado a um computador com a aplicação a correr, mais informações na secção seguinte.

A amostragem é definida consoante a resolução de dados que se pretende retirar do teste. Aconselha-se, em caso de testes curtos, aumentar o tempo de amostragem de maneira a aumentar, por sua vez, a precisão do resultado e alerta-se também para que não te retirem curtos tempos de amostragem em testes de longa duração. Para escolher o tempo de amostragem basta abrir a aplicação PC-LabBox e configurar o valor da amostragem. O tempo de amostragem é o tempo de inatividade entre duas amostras consecutivas.

3.2.2 Firmware LabBox

O controlo e a decisão do *firmware* LabBox são operados pelo sistema-em-um-chip (SoC) [31], o Seeeduino Xiao [32] que é um sistema pequeno responsável pela aquisição e tratamento dos dados. O *firmware*, programa responsável pelo controlo e decisão do sistema, está armazenado na EEPROM do microcontrolador e executa os comandos previamente programados de modo a satisfazer as necessidades do sistema planeadas antecipadamente. Este subcapítulo discute o processo de leitura e tratamento dos dados do sensor magnético, de temperatura e de luz.

Para o desenvolvimento do *firmware* optou-se pelo uso da plataforma de Arduino, a qual combina o hardware e software num único sistema, disponível a baixo custo [33] e numa extensa comunidade online de fóruns, projetos e repositórios. Para além do Arduino IDE, outros ambientes de desenvolvimento poderim ser usados, como é o caso do Visual Studio Code com a extensão de Arduino ou mesmo o XOD IDE [34].

O fluxograma da Figura 3.1 ilustra o processo de inicialização e a ordem dos processos de execução em função dos comandos de entrada. A leitura dos sensores analógicos depende da arquitetura do sistema e resolução do conversor analógico digital (ADC).

$$V_{sinal}(v) = \frac{3.3\ (v)}{2^{10}} \times sinal \tag{3.1}$$

As amostras dos sensores são lidas em forma de valores entre 0 e 1023, que corresponde à resolução do conversor ADC que pode ser convertida em tensão pela equação (3.1). A equação relaciona o sinal analógico de entrada com a sua tensão com proporcionalidade direta de 3.3 volts (tensão de operação) e pelo inverso da resolução do ADC (10 bits).

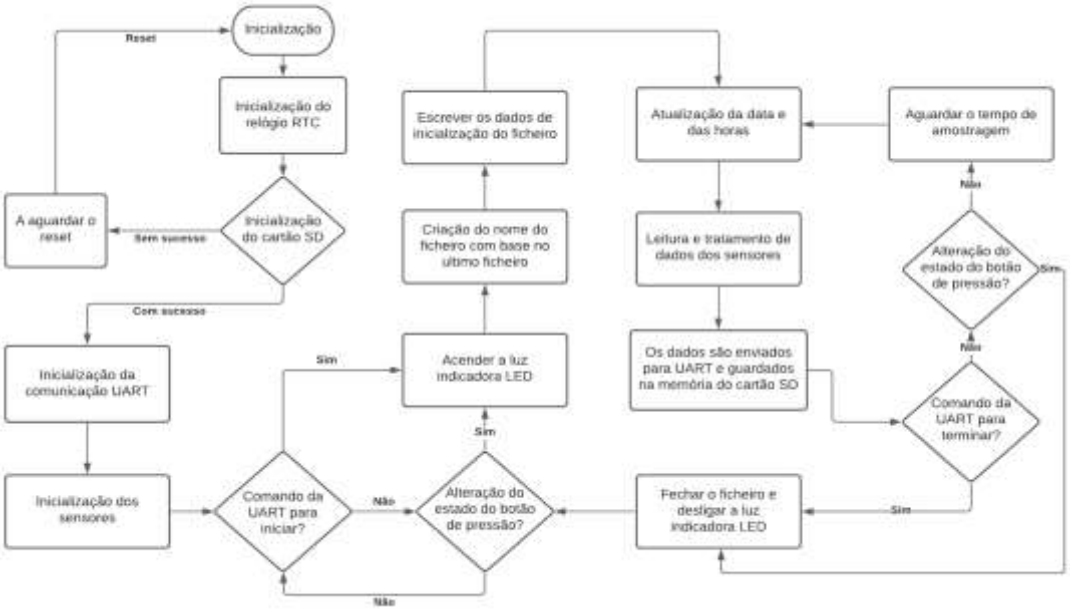

Figura 3.1 - Fluxograma de operação do *firmware* LabBox

3.2.3 Aplicação de configuração PC-LabBox

Com a aplicação PC-LabBox introduz-se a possibilidade de o utilizador visualizar os dados em tempo real, através de um computador e de configurar o tempo de amostragem. A aplicação comunica com o dispositivo LabBox através da porta USB permitindo iniciar e terminar o processo de amostragem.

A integração do software possibilita aos utilizadores menos experientes e àqueles que não desejam ou não têm os conhecimentos de alterar o *firmware* a facilidade de configurar os parâmetros do dispositivo.

O software também fornece informações de configuração à rotina de controlo remoto. Com a disposição de uma interface gráfica o utilizador consegue facilmente introduzir os dados necessários do e-mail de controlo e uma lista dos e-mails autorizados para controlar o projeto à distância.

Para conectar o dispositivo basta selecionar a porta de comunicação (COM) do dispositivo e a velocidade de comunicação. A velocidade inicial é de 115200 bits por segundo (bps) mas incorpora outras velocidades para maior flexibilidade e conveniência para o utilizador. A Figura 3.2 ilustra a interface gráfica da ligação do dispositivo. A conexão do dispositivo é o primeiro passo a realizar quando se quer operar através do software.

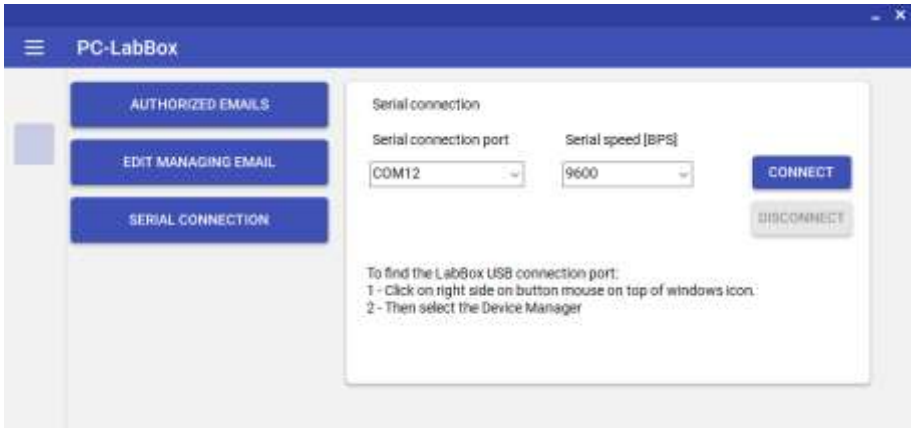

Figura 3.2 - Janela de conexão serial do PC-LabBox

Para controlar o dispositivo localmente o *software* oferece a possibilidade de iniciar e terminar as amostras e de visualizar os dados dos sensores em tempo real tal como se pode observar na janela do menu inicial da Figura 3.3. Esta janela integra uma barra de configuração para a seleção do tempo de amostragem e situa-se na janela principal para relembrar ao utilizador a precisão da amostragem que irá realizar. Depois de concluída a ligação com o dispositivo e feita a configuração de *emails* será assim possível controlar o dispositivo enviando um email para o "managing email", desde que este esteja na lista dos *e-mails* autorizado, no corpo do *e-mail* poderá ser enviada a instrução "start" para dar início a amostragem e "stop" para a sua conclusão.

Figura 3.3 - Página inicial do PC-LabBox software

3.2.4 Rotina de controlo remoto

O controlo remoto do dispositivo LabBox é possível através da sua conexão a um computador. Para iniciar a rotina do controlo remoto é necessário configurar um e-mail administrador

que será responsável por receber os comandos dos e-mails de vários utilizadores e por enviar algumas notificações. De modo a proteger o sistema do controlo por utilizadores não autorizados será necessário adicionar uma lista de e-mails devidamente autorizados a controlar o dispositivo remotamente. Esta opção esta disponível numa das páginas do *software* PC-LabBox tal como se constata na Figura 3.4.

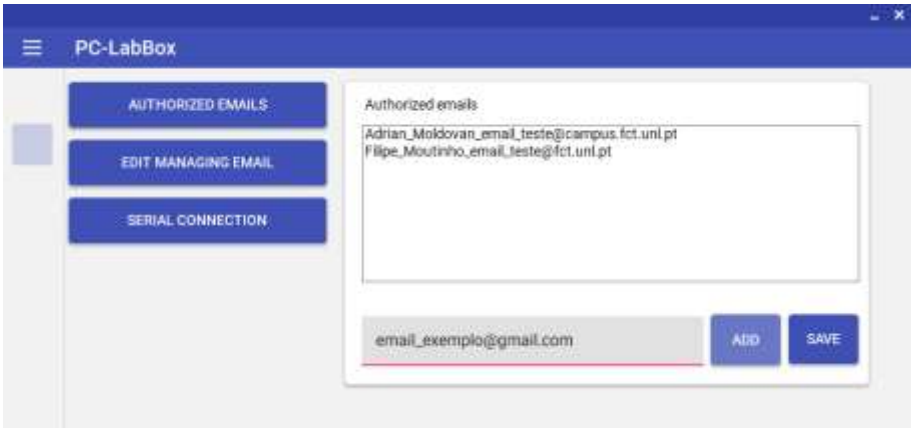

Figura 3.4 - Página de interface gráfica de configuração de e-mails autorizados para o controlo remoto

Caso a lista de pessoas autorizadas esteja vazia qualquer pessoa poderá ter acesso ao controlo do dispositivo. Porém, continua a ser necessário identificar um endereço de e-mail de gestão. O utilizador deverá proceder à criação de um endereço de e-mail do sistema Google (gmail) para poder ser responsável por este controlo, tal como ilustra a página de interface do *software* na Figura 3.5. Este e-mail será a base de controlo da rotina de verificação dos pedidos dos utilizadores, desempenhando a função de verificar se existe um e-mail com o comando do utilizador autorizado a dar início ou terminar uma amostragem. A Figura 3.5 demostra a interface gráfica que surge aquando de guardar as credenciais do endereço de e-mail e respetiva palavra-passe.

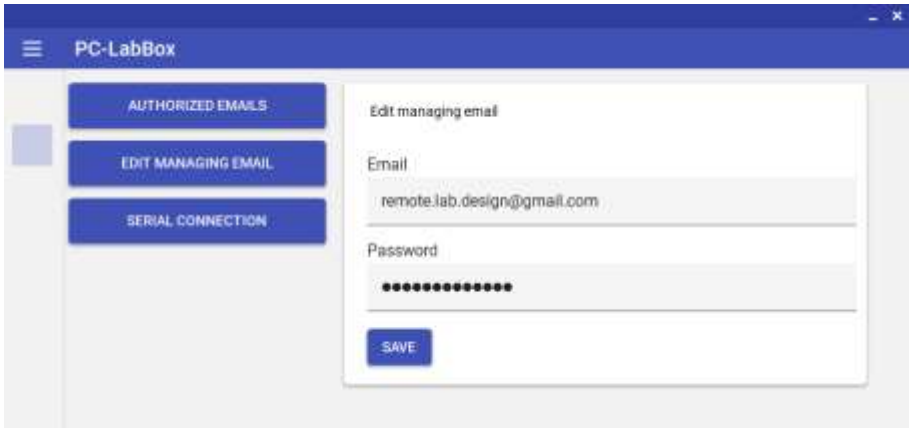

Figura 3.5 - Página de interface gráfica de configuração do e-mail de gestão

Esta implementação segue uma arquitetura de comunicação recorrendo a servidores de e-mail da Google que permite o envio de comandos à distância, por meio do protocolo de comunicação *Internet Message Access Protocol* (IMAP). A arquitetura de ligação entre o utilizador e o dispositivo LabBox pode ser visualizado na Figura 3.6.

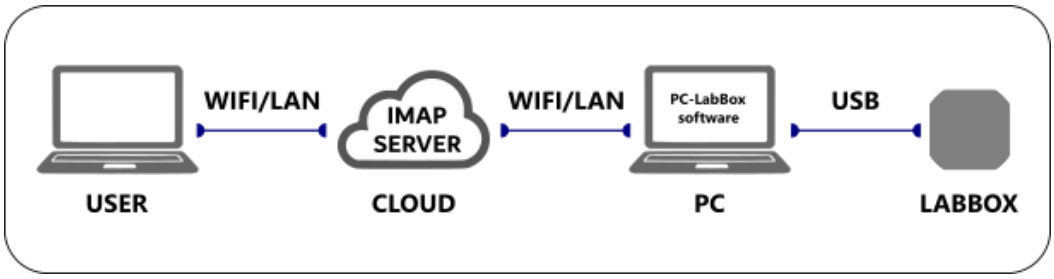

Figura 3.6 - Arquitetura de comunicação do dispositivo LabBox à distância

3.3 Campos de dados, estrutura e memória

No momento em que se pretende fazer o armazenamento dos dados é necessário ter em conta a ordem de campos de dados que serão guardados em cada ficheiro na memória do cartão SD, de ser facilmente removível e trocado. No início de cada amostragem é criado um ficheiro com a terminação CSV, ou *comma separated values*, com o nome “data_X.csv” que é automaticamente gerado e onde o sufixo X se refere ao número da amostra desse dia. Por exemplo, caso tirássemos a vigésima amostra do dia teríamos “data_20.csv” como nome do ficheiro. A atribuição do nome do ficheiro segue o formato criação do ficheiro curto, o formato 8.3 [35], pelo que a criação de ficheiros é limitado por caracteres, sendo que o número máximo de ficheiros será de 999. A primeira linha de dados a ser armazenada é a estrutura de dados da amostragem pela qual os valores serão armazenados de forma ordeira - consultar Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Estrutura de dados

Time [HH:MM:SS]	*Hall sensor [mT]*	*Light sensor [Lux]*	*Temperature [ºC]*

Cada coluna representa o título do correspondente módulo que irá identificar o respetivo eixo de cada gráfico. Após a primeira linha de dados, que ocupa 65 bytes em texto de título e mais 5 bytes do identificador "sep=," o qual serve para identificar o elemento de divisão de dados do ficheiro CSV, que neste caso é a vírgula. O identificador do elemento de divisão de dados tem de ser a primeira linha do ficheiro para o Microsoft Excel reconhecer qual é o elemento de divisão a aplicar. Após a identificação dos elementos de ficheiro e do título seguir-se-ão os dados de amostragem da respetiva ordem da Tabela 3.1.

Dependendo da memória do cartão SD, que poderá ter no máximo 32Gb nesta arquitetura, os ficheiros de estudo dependem do tempo e da duração da amostragem. A Equação (3.2 ilustra o tamanho do ficheiro em função do tempo e da duração de amostragem. Para a máxima capacidade de 32Gb de memória e uma amostragem de 0.5 segundos, ou duas amostras por segundo, o teste levará a sensivelmente cerca de 21 anos até ficar sem espaço na memória. Deste modo o armazenamento de dados não será uma limitação deste aparelho.

$$data(X).csv\ (bytes) = 70\ (bytes) + \frac{26\ (bytes) \times duração\ (s)}{amostragem\ (s)} \tag{3.2}$$

3.4 LabBox PCB

Os componentes internos do projeto estão incorporados numa única placa PCB que fortalece as suas ligações através de soldas que garantem uma boa comunicação. A vantagem de incluir uma placa personalizada para fazer as conexões elétricas dentro de um projeto é a de diminuir o espaço ocupado, sem necessidade de recorrer a fios e cabos como é habitual em fase de fazer na prototipagem com uma *breadboard*. Para além de economizar o espaço da placa, existe uma vasta lista de componentes de inúmeros fabricantes à escolha durante o processo de construção da placa PCB. Os componentes *surface mount devices* (SMD) que são mais compactos e de baixas potências são excelentes opções para tornar os circuitos mais pequenos e densos com baixo consumo energético, o que resulta numa mais-valia quando se fala no que diz respeito ao consumo energético de fontes de alimentação que são uma bateria externa com a intenção de prolongar ao máximo o tempo útil de utilização do dispositivo.

Na elaboração do projeto da placa apresentam-se várias opções de programas capazes de criar as placas PCB, mas para este caso optou-se por usar o *EasyEDA designer software* pela sua possibilidade interação via *web browser* sem necessidade de instalação do programa computador, pela facilidade da *user interface* e por ser gratuito.

3.5 Esquemático

O esquemático não só representa as ligações elétricas do projeto, mas também o tipo e o valor dos componentes que integram esse circuito elétrico. É uma das partes mais importantes do desenvolvimento pois é nesta fase definida a escolha mais adequada dos componentes para o projeto. A escolha adequada dos componentes pode depender do seu stock no mercado, do preço, da quantidade mínima de compra (MOQ) – por vezes a quantidade mínima é tão elevada que leva o utilizador a procurar outro componente para incluir no projeto - da potência, do tamanho, da tecnologia (THT ou SMT por exemplo), da arquitetura, da tensão de alimentação, das correntes máximas e mínimas, e ou outros fatores que dependem unicamente de cada componente para decisão.

A construção do esquemático depende do número de componentes que integram o projeto, e a melhor maneira de organizar o esquemático é subdividi-lo por secções para facilitar a sua interpretação à medida que a complexidade vai crescendo. Tendo isso em consideração o esquemático foi organizado em onze módulos diferentes.

3.5.1 Regulador de tensão

Os reguladores de tensão são dispositivos eletrónicos que mantêm uma determinada tensão e saída estável, usada para fornecer a tensão de alimentação aos componentes do circuito. A vantagem é que a tensão de entrada poderá ter um alcance de entrada, para este caso, entre 7 e 20 volts, e fornecer uma tensão estável de 5 volts à saída com corrente máxima de 500mA. O ruído na comunicação entre os dispositivos do circuito pode ser um fator proveniente da oscilação da alimentação, uma variação de tensão suficiente para causar falhas e erros. Para diminuir as oscilações da tensão de entrada e de saída do regulador de tensão foram implementados dois condensadores, tal como se observa na Figura 3.7, de valores diferentes para filtrar o ruído de frequências distintas. É uma aplicação muito comum e inclusive aconselhada pelo fabricante na documentação do componente.

Os reguladores de tensão são capazes de atingir rapidamente temperaturas elevadas e de ultrapassar a sua própria temperatura máxima de operação. Caso não forem devidamente refrigerados podem-se danificar a si e ao circuito, e até mesmo causar um incêndio. Para evitar estas situações pode optar por: incorporar um dissipador na superfície do regulador de tensão; introduzir um sistema de refrigeração - ar condicionado (tipicamente usado para servidores) ou ventoinhas; optar por reguladores de tensão *surface mount technology* (SMT) para dissipar o calor através dos contactos de solda, pois têm uma maior superfície de contacto; usar um substrato da PCB em alumínio que é um material excelente para uma rápida dissipação térmica dos componentes; aplicar vias térmicas no *design* da placa para dissipar o calor através da PCB em caso de uso de substratos tais como FR4.

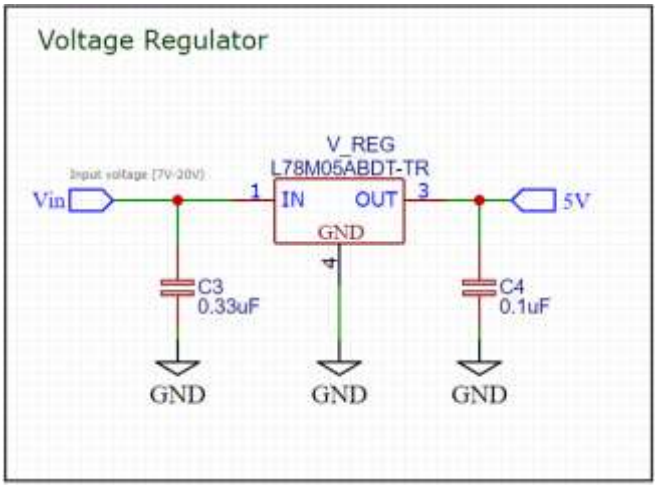

Figura 3.7 - Esquema de ligação do regulador de tensão de 5 volts

3.5.2 Fonte de alimentação externa

Para a conexão de uma fonte de alimentação externa optou-se pelo *terminal block* com possibilidade de inserir dois fios de alimentação (VCC e GND) que podem ser presos com a pressão dos parafusos do componente (Figura 3.8). Desse modo é possível ter liberdade de ligação pois a ligação não depende especificamente de nenhuma ficha de conexão.

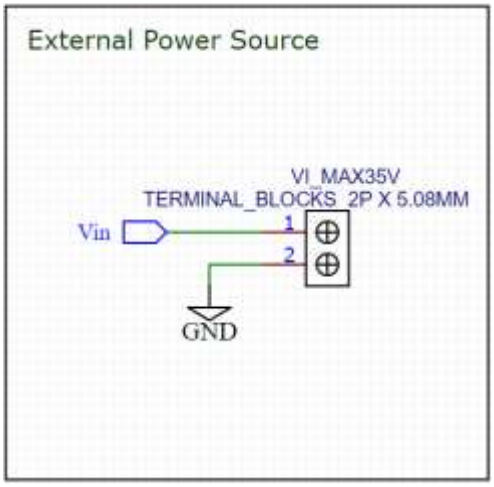

Figura 3.8 - Esquema de ligação do conector de alimentação externa

3.5.3 Sensor de temperatura

O sensor de temperatura tem um alcance de operação desde -40ºC até 125ºC e está diretamente incorporado na placa PCB por ser um SMD. Para não limitar as possibilidades de registo de temperatura foi adicionada/incorporada a possibilidade de conectar um sensor de temperatura externo. O conector JST possibilita a ligação do sinal de um sensor externo de

temperatura. Este mesmo sensor está conectado ao pin de ligação D4 da unidade de processamento pelo que se pode optar por usar qualquer outro sensor analógico ou digital com uma arquitetura de 3.3 volts.

Introduziu-se um potenciómetro na entrada ADJ, como se pode observar na Figura 3.9, no valor de 10 kohm que serve para calibrar o sensor de temperatura em função da temperatura exterior. Para realizar a calibração do módulo de temperatura será necessário o uso de um termómetro externo para medir a temperatura real e então regular consoante esse valor. Para consultar a temperatura durante o processo de calibração, basta iniciar um estado de amostragem e observar o serial input da interface gráfica do PC-LabBox ou do Arduino IDE.

O sensor tem um erro menor do que 1ºC e opera como um zener de 2 terminais onde a tensão de *breakdown* é diretamente proporcional à temperatura absoluta em 10mV/K [36].

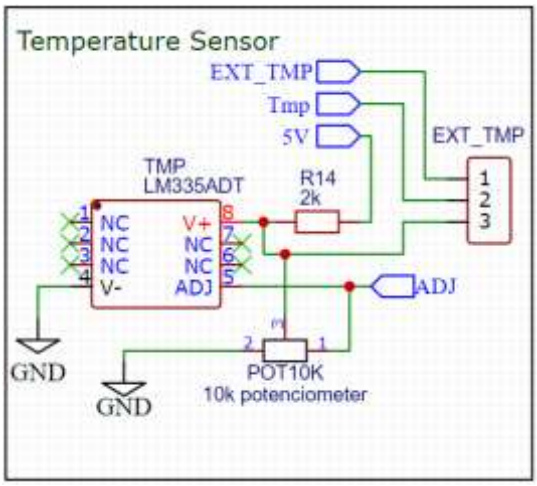

Figura 3.9 - Esquema de ligação do sensor de temperatura

O valor interpretado pela unidade de processamento não vem diretamente em graus centígrados, pelo que é necessário realizar um tratamento dos dados obtidos. Pela equação (3.1) é possível transformar o valor digital convertido pelo conversor ADC (Analog to Digital Converter) em tensão e sabendo que a temperatura é diretamente proporcional com a tensão de entrada a equação (3.3) ilustra a sua relação de variação.

$$Temperatura\ (°C) = \frac{1\ (K)}{0.01\ (V)} \times V_{TMP}(V) - 273.15(K) \tag{3.3}$$

3.5.4 Botão de pressão

O botão de pressão, que se encontra normalmente aberto (Figura 3.10) é o único componente do projeto que possibilita a interação física com o utilizador. O utilizador é capaz de alterar o estado: Estado de inatividade - quando o dispositivo não guarda nenhuma amostragem e aguarda uma mudança de estado; Estado de amostragem - quando o dispositivo captura os dados dos sensores em função das horas para a memória do cartão SD.

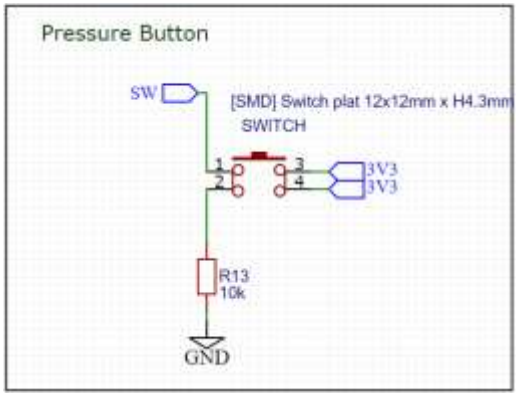

Figura 3.10 - Esquema de ligação do botão de pressão

3.5.5 Sensor de luz LDR

Light depended resistor (LDR), também conhecida como foto resistência, é um componente eletrónico passivo que é sensível a variação da intensidade da luz. Tipicamente, à medida que a intensidade da luz aumenta a sua resistência diminui. Geralmente atinge dezenas de ohms, por outro lado na escuridão tem a máxima resistência e por norma alcança valores na ordem dos megaohms.

A montagem da Figura 3.11 representa o esquemático de um divisor de tensão com um valor fixo de resistência e um conector JST de 2 pinos para a conexão do LDR caso haja necessidade de estender a ligação para adaptar o sensor em sistemas mais afastados do módulo LabBox ou o espaço de implementação possa ser um fator limitador.

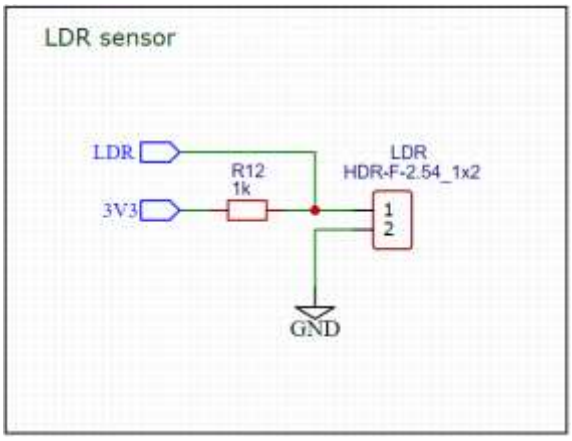

Figura 3.11 - Esquema de ligação do sensor de luz LDR

O valor de tensão injetado na porta da unidade de processamento varia entre 0 e 3.3 volts em função do valor da resistência que por sua vez é sensível à intensidade luminosa tal como se pode observar na equação

(3.4. De modo a realizar uma leitura da iluminância em lux, unidades do Sistema Internacional (SI), é necessário fazer o tratamento dos dados recolhidos.

$$V_{LDR}(volts) = \frac{R_{LDR}}{R_{LDR} + 1000} \times 3.3 \quad (3.4)$$

Segundo a equação (3.4),

$$R_{ldr}\ (\Omega) = \frac{R_1 \times V_{LDR}}{3.3 - V_{LDR}} \quad (3.5)$$

(3.4)podemos calcular o valor da resistência R_{LDR} em função da tensão de entrada V_{LDR} que é denominada pela equação (3.5). O valor de tensão pode ser obtido segundo a equação (3.1).

E equação 3.5 relaciona a proporcionalidade exponencial do valor da resistência com a iluminância [37] que foi obtida através do resultado da atividade experimental [38].

$$E\ (lx) = 12518931 \times R_{ldr}^{-1.405} \quad (3.6)$$

3.5.6 Conexões com o microcontrolador

A integração do microcontrolador (MCU), ou a unidade de processamento, na PCB tem o propósito de gestão e controlo com capacidade de ler os sinais de cada sensor e respetiva comunicação entre outros dispositivos. Para esse efeito foram implementados dois conectores fêmea JST de duas colunas por sete linhas, tal como se pode observar no esquemático da Figura 3.12. Os conectores JST adicionam a possibilidade de substituir facilmente a unidade de processamento por uma outra unidade compatível.

Para a unidade de controlo optou-se pelo “Seeduino XIAO”, um sistem em um chip (SoC) com integração do ATSAMD21G18A-MU microcontrolador para unidade central de processamento por ter uma alta capacidade de processamento, até 48MHZ, e ter uma dimensão muito reduzida (20×17.5×3.5mm). Inclui uma conexão USB-C que permite programar com facilidade o *firmware* e estabelecer uma comunicação com o computador usando o protocolo *universal asynchronous receiver/transmitter* (UART). Também contém a interface *Inter-Integrated Circuit* (I2C) e *Serial Peripheral Interface* (SPI) permitindo a comunicação com outros módulos. As suas onze ligações *General Purpose Input/Output* (GPIO) possibilitam a leitura de sinais digitais e analógicos numa arquitetura de 3.3 volts onde todos eles têm a capacidade de associar *interrupts*.

Na escolha da unidade de processamento é importante conhecer e ter em conta as necessidades do sistema em termos de protocolos de comunicação, quantidade de sensores digitais e analógicos a integrar e arquitetura do sistema, pois no caso de os módulos diferirem em arquiteturas surgiria a necessidade de implementação de componentes adicionais tais como *level shifters*, reguladores de tensão e outros tantos que tornariam o sistema mais dispendioso e complexo (para além de fazerem ocupar mais espaço na PCB e de consumirem mais potência).

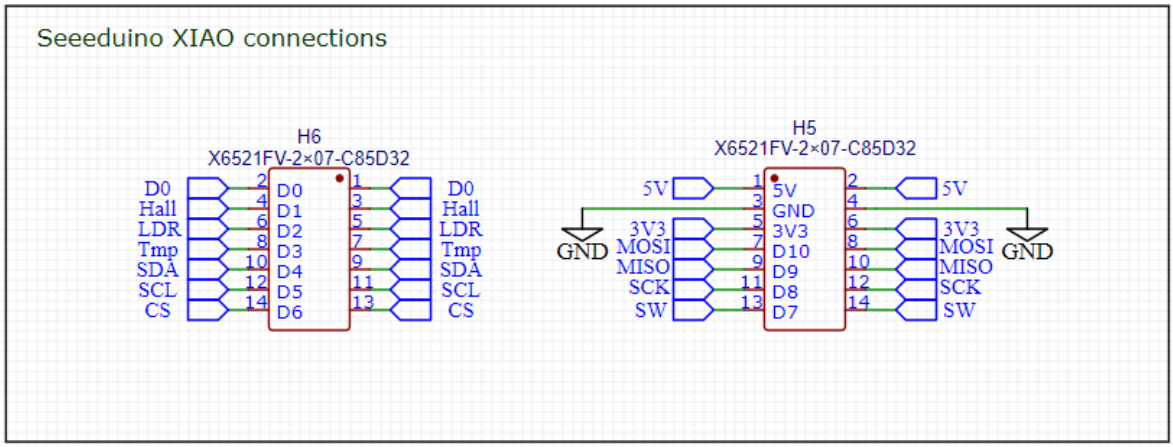

Figura 3.12 - Esquema de ligação do microcontrolador

3.5.7 Sensor magnético

A integração do sensor magnético permite flexibilidade na sua aplicação para a realização de estudos em diferentes situações. Atualmente existem inúmeras aplicações de sensores magnéticos tais como sensores de velocidade, mediação da corrente, potência e campo magnético, sensores de proximidade, entre outros. O sensor magnético de efeito de Hall fornece uma tensão de saída proporcional ao campo magnético aplicado. O sensor incorporado A1324 apresenta uma sensibilidade programada de fábrica de 5,0 mV/G [39]. Com estes dados é possível chegar à equação (3.7) que representa a intensidade do campo magnético, em militesla (mT), em função da tensão de entrada.

$$B\ (mT) = V_{hall} \times 0.0005 \tag{3.7}$$

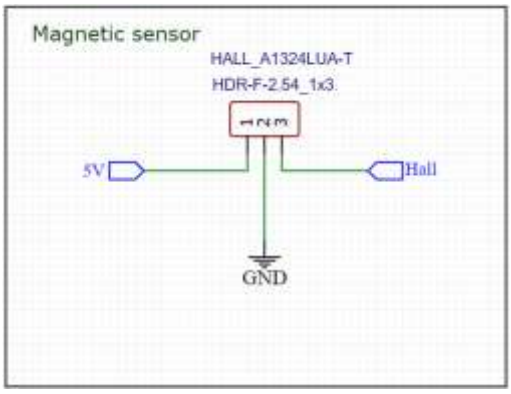

Figura 3.13 - Esquema de ligação do sensor magnético

3.5.8 Indicadores de luz LED

Os componentes de indicação luminosa são ótimos módulos para fornecer indicações ao utilizador sobre a mudança de estado ou comportamento do dispositivo. Os *light emitted diodes* (LED's) são componentes luminosos mais comuns para este tipo de implementação, existem em grandes variedades e fundamentalmente são componentes de baixo custo de tamanhos muito reduzidos. Em função dessa necessidade foram integradas duas luzes LED, uma de cor verde para indicar ao utilizador o instante em que o dispositivo LabBox foi conectado à alimentação e um LED de cor azul para indicar ao utilizador que o dispositivo se encontra na fase de amostragem. O facto de serem cores distintas torna mais fácil recordar a funcionalidade de cada uma. Outra pática muito comum é a de usar vários LED’s da mesma cor com uma identificação da sua função algures no dispositivo, por exemplo “Ligado”, “Em operação” ou outras.

Para um melhor consumo energético aconselha-se a implementação de resistências de maior valor que estão acopladas aos LED's, tal como se pode observar na Figura 3.14, de modo a baixar a corrente imposta e limitar o consumo energético. Isto não constitui um problema no

caso de alimentação a partir de uma fonte constante, mas as alimentações externas tal como pilhas, baterias e *power banks* terão um tempo útil de utilização muito mais curto. Nesta implementação ambas as resistências têm o valor baixo e com um consumo de corrente de 20mA para apenas um dos LED's. À medida que o valor da resistência do circuito do LED aumenta o consumo energético e a intensidade de iluminação decrescem inversamente.

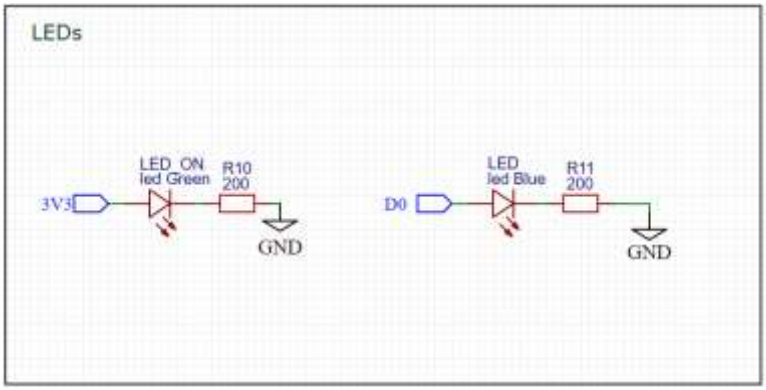

Figura 3.14 - Esquema de ligação de luzes de indicação LED

3.5.9 Relógio de tempo real (RTC)

O módulo de relógio é o único componente do projeto que usa a comunicação I2C para comunicar com a unidade de processamento, e tem por isso duas resistências pull-up de 10kohm nos pinos de comunicação SCL e SDA sugeridas pelo fabricante – consultar a Figura 3.15. No caso de mais dispositivos serem integrados para usar a comunicação I2C teria de ser ajustado o valor das mesmas.

O relógio tem a possibilidade de ligação de um cristal de distintas frequências. Optou-se pelo cristal standard de 32.768KHz para uma maior precisão do rastreio do tempo e menor ruído, pois haveria uma pequena possibilidade de escutar as vibrações de cristais abaixo da frequência audível de 20KHz. Existe a possibilidade de adquirir relógios RTC com compensador de ruído térmico, o qual aumenta a precisão da contagem e evita a distorção nas horas a longo prazo.

A precisão do relógio depende da precisão do cristal e da precisão da combinação entre a carga capacitiva do circuito oscilador e a carga capacitiva para a qual o cristal foi desenvolvido. Uma margem de erro adicional será adicionada pelo desvio da frequência do cristal causada por mudanças de temperatura. O ruído externo do circuito adjacente ao circuito do oscilador pode fazer com que o relógio acelere na contagem [36].

O módulo oferece duas possibilidades de alimentação, uma alimentação proveniente de uma fonte constante de 5 volts e outra a partir de uma pilha de moeda CR2032, VCC e Vbat.

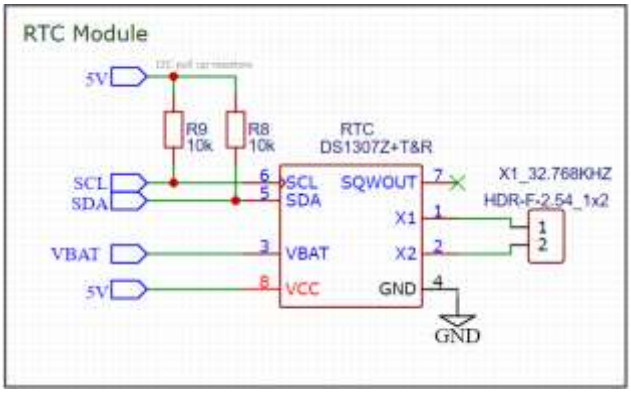

Figura 3.15 - Esquema de ligação do relógio RTC DS1307

3.5.10 Bateria de alimentação do relógio

Para uma alimentação incorporada no projeto do LabBox optou-se por usar uma pilha de moeda CR2032 de 3 volts que tem como propósito alimentar o módulo *real time clock* (RTC), fazendo ligação ao pino Vbat - Figura 3.16, quando o módulo LabBox não é alimentado. A pilha tem como vantagens ser facilmente trocável e ocupar pouco espaço em relação a outras opções. Outras possibilidades seriam por exemplo baterias recarregáveis como as baterias de lítio, mas para o uso de baterias de lítio é necessário incorporar controladores de alimentação, *Battery Management System* (BMS), o que traz um custo adicional ao projeto, para além de que ocupa espaço maior na placa PCB.

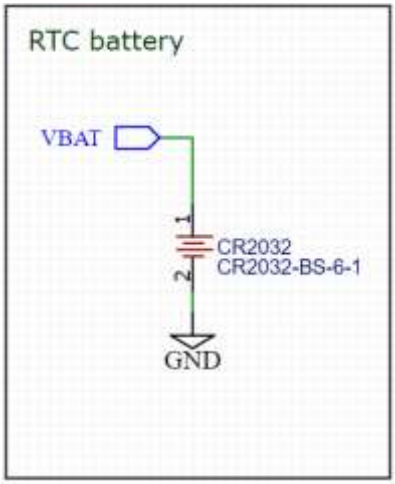

Figura 3.16 - Esquema de ligação da bateria de alimentação do relógio RTC

3.5.11 Conexão do cartão SD

Para o armazenamento de dados incorporou-se uma entrada para cartões SD. É utilizado o protocolo SPI para a troca de informações com a unidade de processamento. A comunicação

SPI requer seis ligações - Figura 3.17. As conexões Chip Select (CS), Master Output Slave Input (MOSI), Master Input Slave Output (MISO), Serial Clock (SCK), 3.3 volts (3V3) e Ground (GND) operam na arquitetura de 3.3 volts, pelo que a ligação é direta com o microcontrolador sendo que ambos partilham a tensão de operação. Em caso de arquiteturas distintas aconselha-se o uso de módulos que façam a ponte da comunicação entre arquiteturas distintas tais como *level shifters* ou a aplicação devida de divisores de tensão nos pinos CS, MOSI, MISO e SCK.

A capacidade máxima do cartão de memória é de 32Gb e é possível usar um adaptador de cartão SD para entrada de cartões mini SD. O uso de memória externa proporciona a possibilidade de expansão e de troca da memória caso esta fique cheia ou danificada.

Para além de realizar os estudos de amostragem dos sensores de luz, de temperatura e magnético há a possibilidade de adaptar a estrutura de dados em caso de introdução de mais sensores com funções distintas das acima mencionadas.

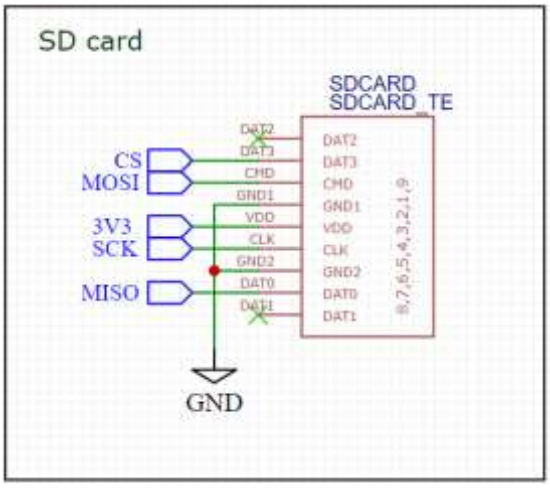

Figura 3.17 - Esquema de ligação do cartão SD

3.6 Placa de circuito Impressa (PCB)

Para integração final de todos os componentes do projeto construiu-se uma placa PCB que interliga eletricamente todos os dispositivos segundo a planificação do esquemático. O projeto teve três iterações de PCB's, demonstradas na Figura 3.18 a qual mostra o desenvolvimento de cada iteração da esquerda para a direita. A organização dos sensores é distribuída ao longo das suas arestas arredondas para maior facilidade de acesso. As iterações passaram por um processo de melhorias permitindo assim evoluir funcionalidades e correção de erros das primeiras versões. As evoluções das funcionalidades constituem:

- Incorporação do potenciómetro (de 10 kOhm) para calibração do sensor de temperatura;

- Reorganização das pistas de ligação e dos condensadores para aumentar a eficiência dos filtros e tornar o sistema mais robusto a interferências. Isto permite reduzir *inductive loops*, uma prática mais comum para comunicações de alta frequência.
- Inclusão de *pin headers* para introdução de sensores de temperatura externos, permitindo realizar leituras mais precisas ou incorporar outro tipo de sensores.

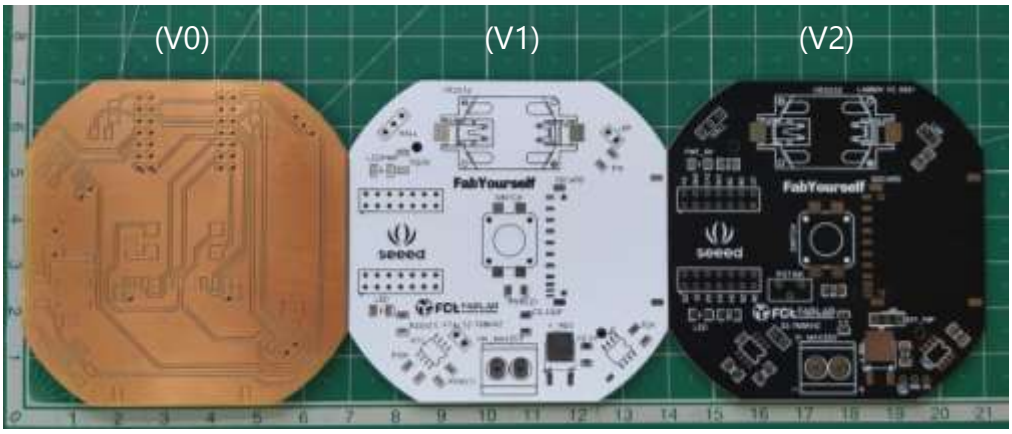

Figura 3.18 - Iterações da placa PCB do dispositivo LAbBox

A montagem final do projeto incorpora uma PCB de extensão de temperatura que permite o contacto direto com sistemas de interesse. A montagem final pode ser visualizada na Figura 3.19.

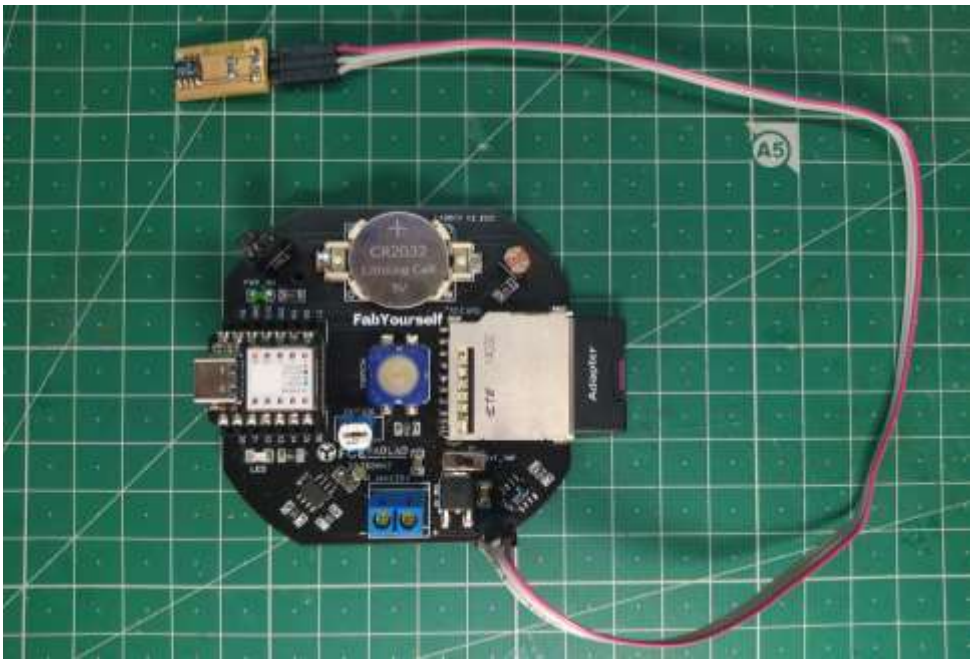

Figura 3.19 - Dispositivo LabBox V2 e a PCB de extensão de temperatura

3.7 Build Of Material

No que toca a listagem de componentes a Tabela 3.2 representa o valor, o nome, a sua designação, o tamanho (*footprint*) e a quantidade de cada elemento do projeto. Isto é fundamental durante o processo de desenvolvimento de qualquer projeto. A tabela de *Build of Material* (BOM) fornece a lista dos componentes que constituem o projeto. A BOM é usada no processo de aquisição dos componentes segundo o seu valor, tamanho e quantidade e no processo de montagem segundo o seu designador da placa PCB.

Existem boas práticas a adotar durante o desenvolvimento das placas PCB que podem reduzir o seu custo [40]. Uma delas, é reutilizar o mesmo valor de resistências, condensadores e outros componentes similares em diferentes secções do circuito. Isto reduz a variedade de diferentes tipos de componentes no processo de assemblagem automática reduzindo por consequente o custo de produção. As máquinas de assemblagem estão limitadas pela capacidade de diferentes rolos de componentes que com os quais podem operar. No processo de deposição de resistências no valor de 10kohm, por exemplo, apenas com esse valor se pode formar uma resistência de 20kohm e 5kohm com ligação em série e paralelo, respetivamente, isto apenas se forem incluídas duas resistências de valor 10kohm. Deste modo não há necessidade de perder tempo na troca de componentes sendo possível continuar a montar os componentes. Para além de diminuir o custo do próprio componente que pode ser adquirido em quantidades maiores. Mas isto vem com um custo do aumento da densidade do circuito ocupando mais espaço na placa, aumentando peso (importante para aparelhos como drones por exemplo) e a sua complexidade.

Tabela 3.2 - Lista dos componentes e a sua designação

Nome	**Designador**	**Tamanho (*Footprint*)**	**Quantidade**
0.33uF	C3	C1206	1
0.1uF	C4	C1206	1
CR2032-BS-6-1	CR2032	BAT-TH_CR2032-BS-6-1	1
X6521FV-2×07-C85D32	H5,H6	HDR-TH_14P-P2.54-V-F-R2-C7-S2.54	2
HDR-F-2.54_1x3	HALL_A1324LUA-T	HDR-F-2.54_1X3	1
HDR-F-2.54_1x2	LDR,X1_32.768KHZ	HDR-F-2.54_1X2	2
led Blue	LED	LED1206-RD	1
led Green	LED_ON	LED1206-RD	1
200 ohm	R10,R11	R1206	2
1 kohm	R12	R1206	1
10 kohm	R8,R9,R13	R1206	3
2 kohm	R14	R1206	1

DS1307Z+T&R	RTC	SOIC-8_L5.0-W4.0-P1.27-LS6.0-BL	1
SDCARD_TE	SDCARD	SDCARD_TE	1
[SMD] Switch plat 12x12mm x H4.3mm	SWITCH	TACTILE-SMD-12MM	1
LM335ADT	TMP	SOIC-8_L5.0-W4.0-P1.27-LS6.0-BL	1
TERMI-NAL_BLOCKS_2P X 5.08MM	VI_MAX20V	TERMONAL BLOCKS 2P_5,08MM	1
L78M05ABDT-TR	V_REG	TO-252-2_L6.5-W6.1-P4.58-LS10.0-TL	1

3.8 Conexões com o microcontrolador

A placa Seeeduino XIAO, que incorpora um microcontrolador (MCU), possui uma interface *General Purpuse Input/Output* (GPIO) para ligação de componentes eletrónicos externos. Entre estes pinos é possível encontrar:

- pinos de alimentação: GND, 5V e 3.3V;
- pinos de canais de comunicação: UART, I2C e SPI;
- onze pinos genéricos de entrada/saída analógica ou digital.

A Tabela 3.1 representa os pinos de ligação entre a unidade de processamento e os diversos sensores e atuadores.

Tabela 3.3 - Ligações dos sensores com a unidade de processamento

MCU Pin	**Flag Name**	**Sensor**
D0	D0	Luz LED
D1	Hall	Sensor magnético
D2	LDR	Sensor de luz
D3	Tmp	Sensor de temperatura
D4	SDA	I2C - SDA pin
D5	SCL	I2C - SCL pin
D6	CS	SPI - Chip Select pin
D7	SW	Botão de pressão
D8	SCK	SPI - Clock pin
D9	MISO	SPI - MISO pin
D10	MOSI	SPI - MOSI pin
3V3	3V3	POWER
GND	GND	POWER
5V	5V	POWER

3.9 Alimentação e Potência

A unidade de processamento opera numa arquitetura de 3.3 volt e inclui um regulador de tensão interno que permite que esta seja alimentada a 5 volt através da porta de entrada USB. É possível alimentar o dispositivo por meio de uma conexão USB ou ligação direta de um fio de 5 volt e GND nos pinos correspondentes do circuito. A conexão USB pode ser alimentada através de um computador ou através dos *power banks*, baterias de alimentação externa. O LabBox tem nele incorporado uma conexão de alimentação externa, para além da conexão USB, onde se encontra conectada ao regulador de tensão incorporado na placa e que suporta até 35 volts de entrada, mas é aconselhado pelo fabricante uma alimentação de 7 a 20 volts para uma tensão estável de 5 volts. Esta funcionalidade de alimentação externa otimiza a possibilidade de uso de pilhas de 9 volts e baterias de 12 volts dos automóveis, ou o uso outras fontes, de modo a tornar o dispositivo portátil onde a alimentação de rede não for acessível.

A pilha de moeda de 3 volts incorporada no circuito não alimenta o circuito interno, o propósito dela é apenas o de alimentar o módulo de relógio RTC. O relógio só consome a energia proveniente da pilha de 3 volts quando não existe mais nenhuma fonte de alimentação. A bateria tem um consumo menos de 500nA em modo *backup* mesmo com o oscilador a trabalhar.

As baterias recarregáveis têm um melhor desempenho na alimentação do dispositivo sendo que pilhas descartáveis possuem pouca carga e mostram ser pouco eficazes. A Tabela 3.4 representa os consumos médios de diferentes versões do dispositivo LabBox no estado de inatividade e no estado de amostragem. O uso de uma *powerbank* de capacidade mais comum 2000mAh alimentará o dispositivo aproximadamente durante 52 horas.

Tabela 3.4 - Tabela de consumos energéticos do dispositivo LabBox

Versão do dispositivo	***Consumo no Estado de inatividade [mA]***	***Consumo no estado de amostragem [mA]***
LabBox V0	28.6	37.0
LabBox V1	30.5	34
LabBox V2	34	36.5

4

4 Validação e Testes

Este capítulo apresenta a realização de testes em diferentes circunstâncias para aquisição e rastreio de dados com o propósito de análise do sistema e validação do projeto LabBox em contexto laboratorial.

4.1 Estudo térmico em aparelhos resistivos

No desenvolvimento do aparelho resistivo realizaram-se os cálculos necessários para o dimensionamento da sua resistência interna e secção do fio elétrico para o dimensionamento da sua corrente máxima. O aparelho de estudo é uma base de aquecimento de uma impressora 3D. As bases de aquecimento, também denominadas por *heated beds*, são aparelhos de aquecimento térmicos que podem atingir 110ºC graus de temperatura. Contudo a taxa de transferência de calor influência o tempo de aquecimento e é importante que estes aparelhos sejam capazes de atingir as temperaturas desejadas o mais brevemente possível, pois o utilizador terá de ficar à espera até que a base de impressão consiga alcançar a temperatura ideal para a utilização da máquina de impressão.

Deste modo realizaram-se três testes de aquecimento de uma base de impressão (“Blocks Desktop heated bed V1”) de alumínio de 3mm de espessura com 245mm de largura e 310mm de comprimento e de 2.7 ohm de resistência interna do condutor. O objetivo é monitorizar e cronometrar o tempo de aquecimento até à temperatura de 50ºC - temperatura ideal para impressão de plásticos como o poliácido láctico [41] (PLA).

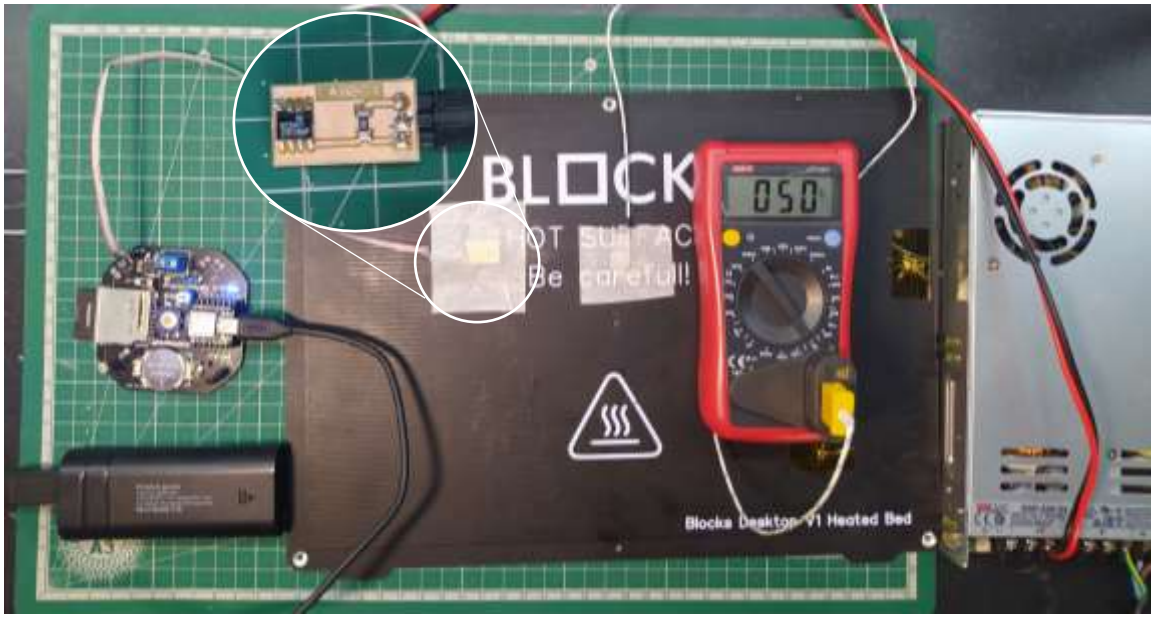

Figura 4.1 - Instalação dos testes de aquecimento da base de impressão da BLOCKS

A montagem dos testes inclui o dispositivo LabBox alimentado pela *powerbank e* uma ligação da PCB de extensão com sensor de temperatura integrado. A base de aquecimento está diretamente conectada a uma fonte de alimentação de 24V com 320 watts de potência cujo aquecimento é controlado por um interruptor manual. Para validar a temperatura de superfície em tempo real foi instalado um sensor de temperatura de um multímetro digital.

Para um melhor contacto térmico desenvolveu-se uma placa PCB de extensão (ver o detalhe ampliado na Figura 4.1) para maior facilidade de aplicação e melhor contacto térmico entre a base de aquecimento e o sensor de temperatura. Aplicou-se também uma pasta térmica na superfície de contacto para uma melhor transferência de calor, minimizando os erros de leitura.

Na Figura 4.2 pode ser verificada a evolução do aquecimento da base de impressão ao longo do tempo. O gráfico representa a realização de 3 testes nas mesmas condições de instalação permitindo analisar a repetibilidade das leituras do dispositivo LabBox e o comportamento de aquecimento da base de impressão. Os estudos foram realizados com 4 amostras por segundo para denotar maior detalhe no crescimento da temperatura.

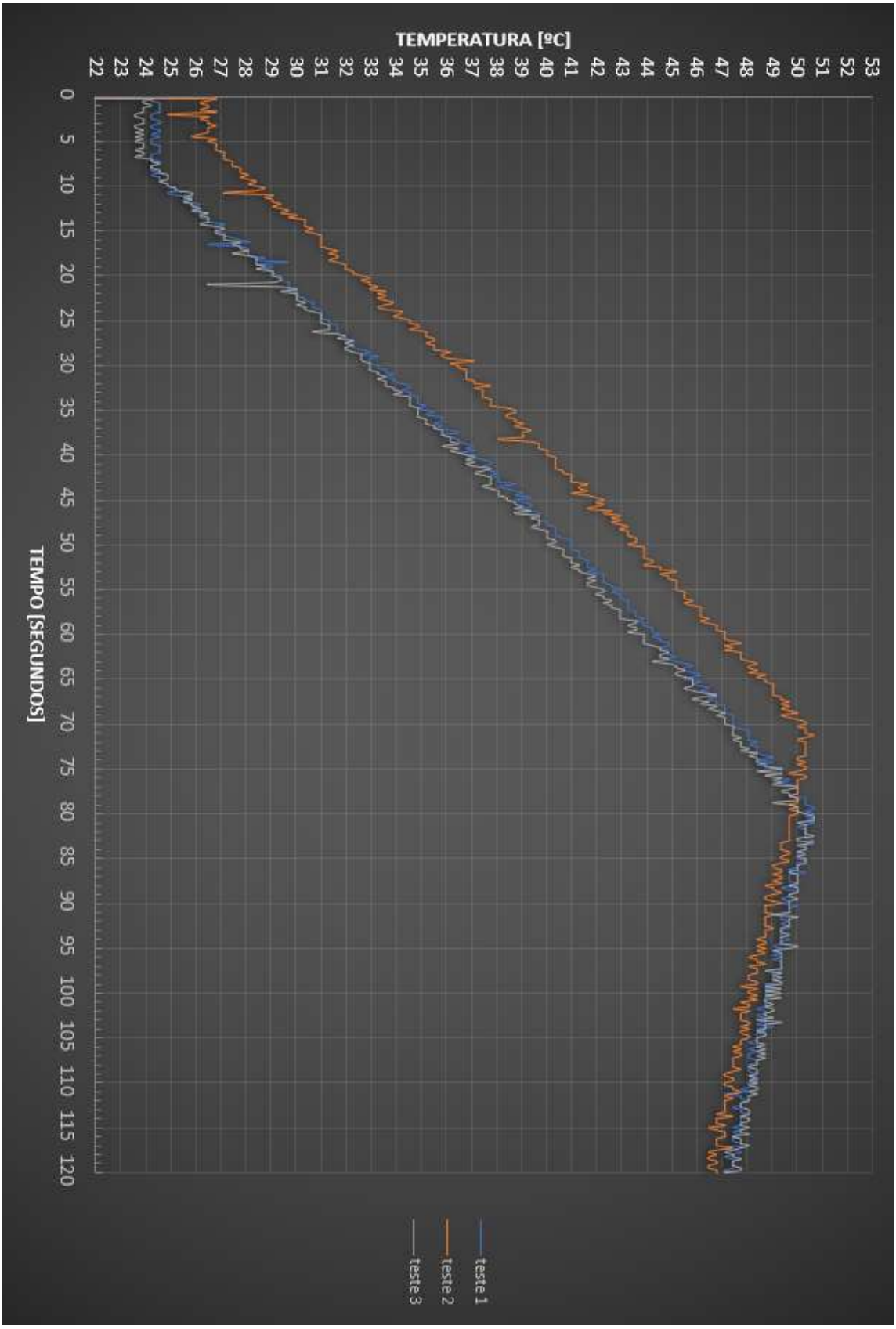

Figura 4.2 - Testes de aquecimento da base de impressão da Blocks até 50ºC graus

Tabela 4.1 - Resultados experimentais de aquecimento da base de impressão da Blocks

Teste	*∆T[ºC]*	*t[s]*	*Fluxo de calor[ºC/s]*
1	25.46	78.25	0.33
2	23.53	69.50	0.34
3	25.79	79.50	0.32

O tempo de aquecimento da base de impressão dos testes 1, teste 2 e teste 3 revelou ser de 1m18.25s, 1m9.5s e 1m19.5s respetivamente, tal como é possível constatar na tabela 4.1. O teste 2 atingiu os 50ºC graus mais rapidamente em relação aos outros testes, comportamento esse devido à maior temperatura inicial, contudo todos eles apresentam valores de crescimento similares.

Para efeitos de comparação realizou-se um estudo de amostragem manual e um registo visual da cronometragem do tempo de aquecimento da base de impressão em causa. O teste foi realizado em circunstâncias diferentes aos testes acima mencionados porque a base de impressão estava incorporada numa impressora 3D. Nesta instância, o controlo de aquecimento era controlado pela placa-mãe (SKR PRO V1.2) da impressora com controlo de PID. Estabeleceu-se o objetivo de aquecimento de 140ºC graus e foram retiradas amostras de tempo com intervalos de 5ºC graus. Os resultados dos testes podem ser acompanhados na Figura 4.2. O aquecimento deste elemento resistivo tem um comportamento parecido a uma função logarítmica, uma vez que quanto maior é a temperatura do condutor maior é a resistência à passagem da corrente. Assim, ao longo do tempo a resistência do condutor é inversamente proporcional à corrente que passa. A transformação da energia elétrica na energia térmica depende da corrente, devido a Lei de Joule ($P[W] = RI^2$), onde a corrente do condutor é diretamente proporcional ao quadrado da potência dissipada. Visto que ao longo do tempo a resistência aumenta isto leva a que corrente diminua ao quadrado, consequentemente a taxa de transferência de calor também vai diminuindo, pelo que o intervalo de tempo vai aumentando para atingir maiores valores de temperatura.

Concluindo, os testes tiveram um comportamento constante permitido analisar a evolução térmica da base de impressão. O tempo de aquecimento do teste com cronometragem visual teve um resultado de 1m5s, resultado esse relativamente semelhante ao dos testes com o dispositivo LabBox, mas sem o controlo PID. Desta forma, a análise dos dados permitiu entender o comportamento da temperatura da base de impressão em função do tempo.

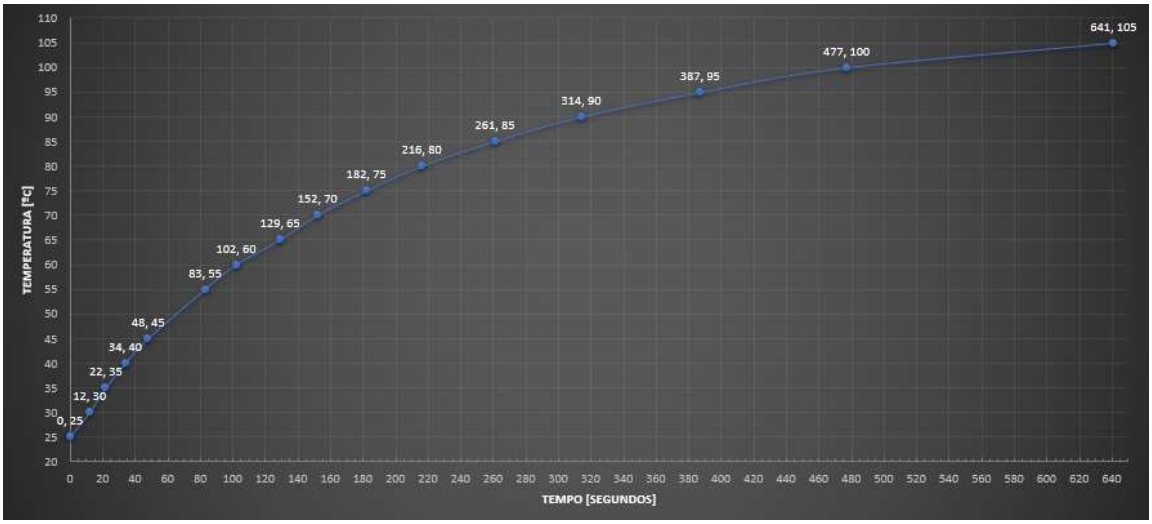

Figura 4.3 - Gráfico de aquecimento da base de impressão da Blocks segundo uma cronometração visual

4.2 Rastreio da iluminância e da temperatura do telhado de um edifício

Realizou-se um estudo no telhado de um edifício de habitação na localidade de Setúbal (Portugal), no decorrer de um dia (16 de setembro de 2021) das 9h30m às 21h, para rastrear a temperatura e iluminância ao longo do tempo de teste. Com este estudo será possível conhecer melhor as condições atmosféricas da superfície do telhado. O resultado da análise de dados deste estudo poderia ser empregue para dimensionamento e correspondente aquisição de painéis fotovoltaicos. Porém, não será esse o foco deste teste. Não obstante, o auxílio do projeto LabBox torna possível fazer uma monitorização dos dados de uma forma mais económica e acessível.

Figura 4.4 - Instalação do projeto LabBox no telhado de um edifício de habitação na localidade de Setúbal para monitorização da iluminância e da temperatura.

Antes de mais, o dispositivo LabBox foi inserido dentro de uma caixa à prova de água de maneira a proteger os componentes eletrónicos dos elementos exteriores. Dentro da caixa encontram-se o primeiro protótipo do projeto LabBox, duas saquetas de sílica para absorção da humidade e uma *powerbank* de 5600 mAh de capacidade tal como se observa na Figura 4.4. Observou-se que nem todas as *powerbanks* operam com o dispositivo LabBox pois, devido ao seu baixo consumo, a *powerbank* tem também de ter uma capacidade de consumo de baixa potência. O resultado da temperatura e da iluminação incidente podem ser analisados na Figura 4.5. A iluminação do telhado sofre variações bruscas ao longo do dia devido a condições climatéricas como a passagem de nuvens. Pode observar-se com mais detalhe que, aproximadamente entre as 12h50 às 14h00, o céu permaneceu muito mais nublado captando uma iluminância mais baixa com média de 5000 lux, o que por sua vez influenciou a descida da temperatura.

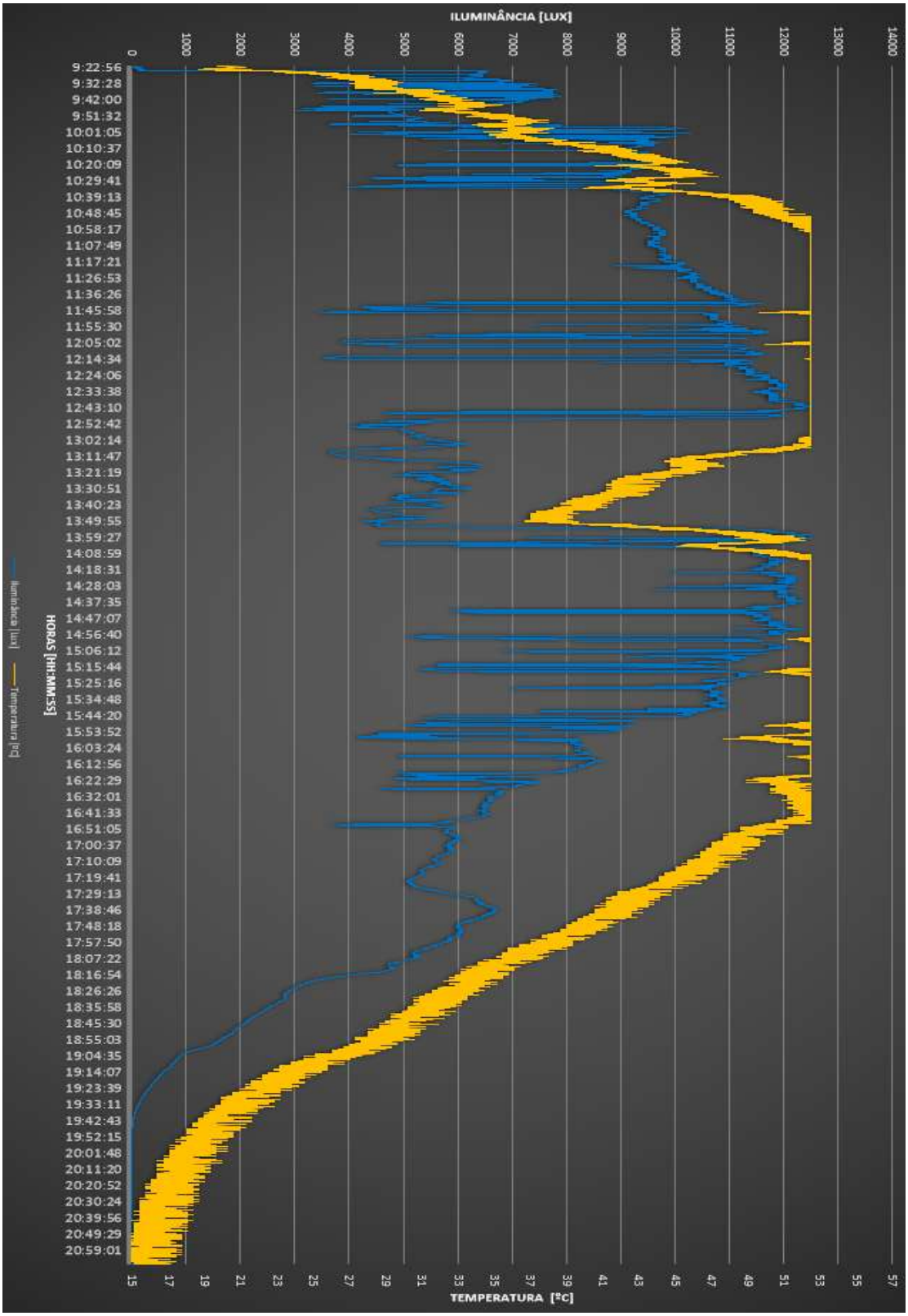

Figura 4.5 - Variação da temperatura e da iluminância da superfície de um edifício de uma habitação na localidade de Setúbal

A variação da temperatura teve um pico máximo de 52.5ºC graus causado pela incidência direta da luz solar e resultante do facto do dispositivo estar fechado num compartimento isolado com alguma humidade presente. É também notória uma saturação nos valores da temperatura acima dos 52.5ºC graus devido ao limite máximo de tensão de entrada (de 3.3 volts) imposto pelo sensor de temperatura no ADC da unidade de processamento. No final da experiência verificou-se a condensação da água nos cantos da tampa transparente da caixa de isolamento. As saquetas provavelmente ajudaram a prevenir a condensação total da tampa, o que poderia ter afetado os dados da iluminância.

4.3 Contagem de entradas de pessoas

O sensor magnético incorporado no dispositivo LabBox permite realizar diferentes tipos de recolha de dados. Para o teste seguinte aplicou-se o dispositivo LabBox na porta de entrada do FabLab, da FCT UNL, para a contagem do número de pessoas que passam pelo espaço. Para fazer a leitura colou-se um íman na porta, suportado por fita cola azul da M3, de maneira a acionar uma variação no campo magnético. O teste foi realizado durante um período de 24 horas (a meados do mês de setembro de 2021). A instalação do dispositivo LabBox e do íman estão presentes na Figura 4.6.

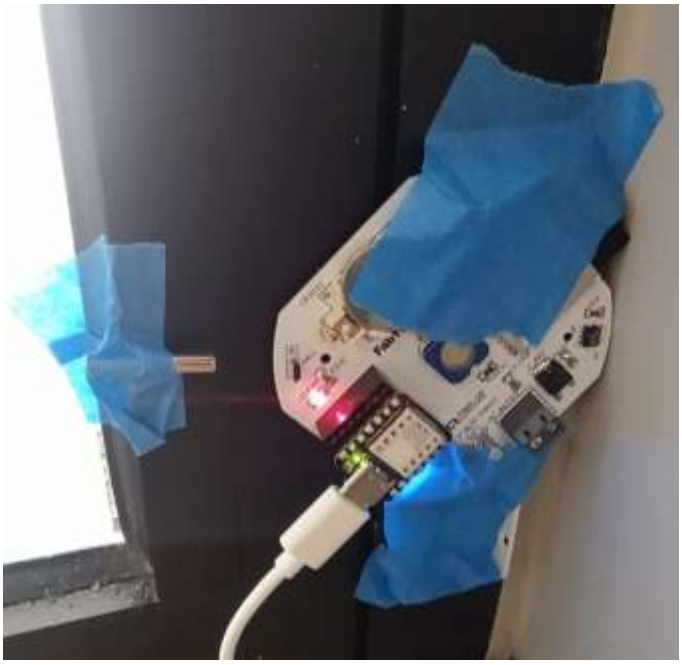

Figura 4.6 - Instalação do dispositivo LabBox na porta de entrada do FabLab FCT UNL

Os dados referentes ao teste observam-se na Figura 4.7 onde está representada a variação do campo magnético provocado pela abertura da porta em função das horas do dia. Os picos do gráfico representam os curtos períodos em que a porta se encontrava aberta. Contam-se 19 picos

de amostras referentes a abertura da porta ao longo do dia e, tendo em conta que a pessoa para sair do espaço tinha primeiro de entrar, conclui-se a que teria de abrir a porta pelo menos duas vezes, uma vez que esta é a única entrada e saída disponível na divisão. O estudo não indica a quantidade de pessoas que passaram pelo espaço pois podiam entrar em grupo e não havia maneira de validar isso através da implementação deste teste. Mas por meio de observação durante um período do estudo tal caso não se verificou. Desta maneira estima-se que durante o período da experiência passaram 9 pessoas (contagem por defeito) pelo espaço. Tomando este estudo como exemplo, uma boa aplicação seria a instalação do mesmo sistema numa cancela de um parque de estacionamento onde é somente permitida a passagem de um veículo de cada vez produzindo uma contagem mais exata.

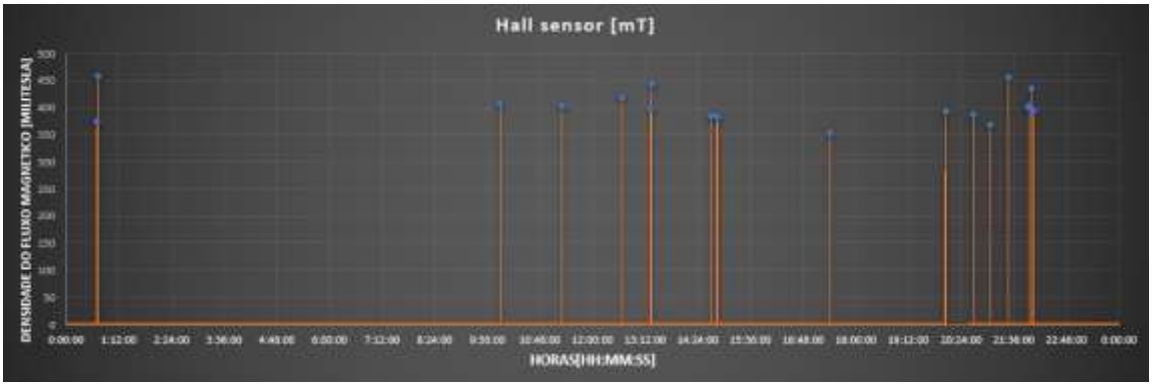

Figura 4.7 - Gráfico da variação do campo magnético incorporado na porta de entrada do FabLab FCT UNL ao longo de 24h

4.4 Teste de iluminância de espaços para efeitos de dimensionamento de luminárias

Foram realizados alguns testes de iluminação de um dos espaços de laboratório do FabLab, da FCT UNL, no mês de setembro de 2021 aproximadamente às 14h da tarde com o objetivo de analisar a iluminação do espaço. O espaço está equipado com três lâmpadas LED de 806 lumens cada e 9 watts de potência situadas a uma altura de 2.45 metros da altura do chão e espaçadas 80 centímetros entre si. A Figura 4.8 ilustra a configuração da sala, a distribuição das bancadas de trabalho e a posição das luminárias.

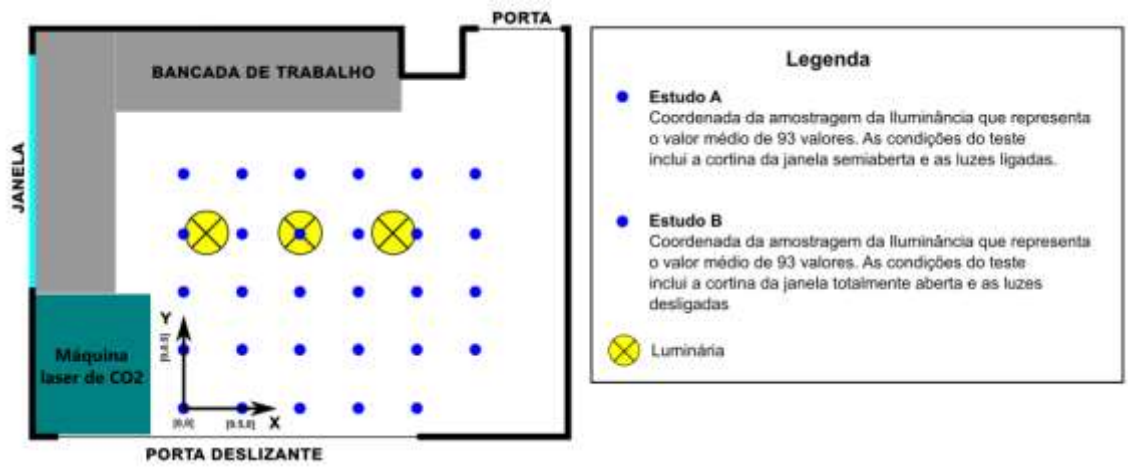

Figura 4.8 - Representação da sala de trabalho da máquina de corte laser e dos pontos de amostragem da iluminação no FabLab FCT UNL. Ilustração da sala desenhada à escala.

A sala tem uma janela com orientação Nordeste, pelo que recebe iluminação natural na maior parte da manhã de um dia. A Figura 4.9 representa o espaço de estudo bem como a disposição dos equipamentos e das luminárias.

Figura 4.9 - Fotografia da sala de trabalho do FabLab FCT UNL

Para a comparação de resultados em circunstâncias distintas de iluminação da sala realizaram-se os seguintes estudos nas mesmas coordenadas da sala:

- Estudo A – As condições da recolha das amostras incluem a cortina da janela semiaberta com as luzes ligadas. Este estudo foca-se na análise da influência das luzes artificiais;

- Estudo B – As condições da recolha das amostras incluem a cortina da janela totalmente aberta e as luzes da sala apagadas. Este estudo foca-se apenas na análise da iluminação natural proveniente da janela da sala.

Foram realizadas 29 amostras em diferentes coordenadas da sala. Tal como se pode observar na Figura 4.8, todos os pontos estão espaçados 0.5 metros entre si a uma altura de 1.3 metros constantes medidos com a ajuda de um tripé. Cada amostra foi calculada com uma média usando aproximadamente 93 valores. A média dos 93 valores foi registada no espaço de tempo de 1 segundo por cada coordenada para reduzir os erros de leitura. Os resultados das amostras do estudo A observam-se na Figura 4.10.

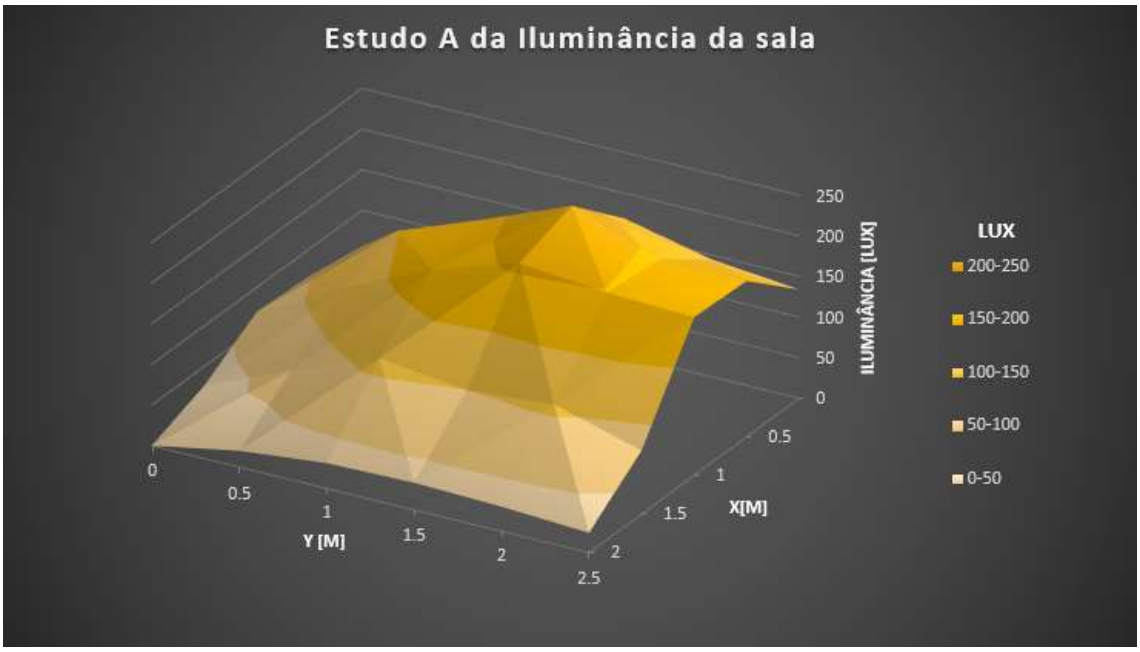

Figura 4.10 - Estudo A da iluminância da sala do FabLab FCT UNL

Neste gráfico tridimensional o plano de base representa o chão com vários pontos de recolha das amostras representados por um plano cartesiano de eixos X e Y em metros, com uma origem definida num dos cantos do espaço (ver Figura 4.8). O eixo vertical representa a iluminância, em lux. Quanto maior o seu valor maior é a intensidade luminosa e a clareza da visualização de detalhes. Os valores de maior intensidade inclinam-se para coordenadas mais adjacentes à localização da janela e ao centro da sala onde se situam as luminárias. A janela representa uma forte influência na iluminação do espaço.

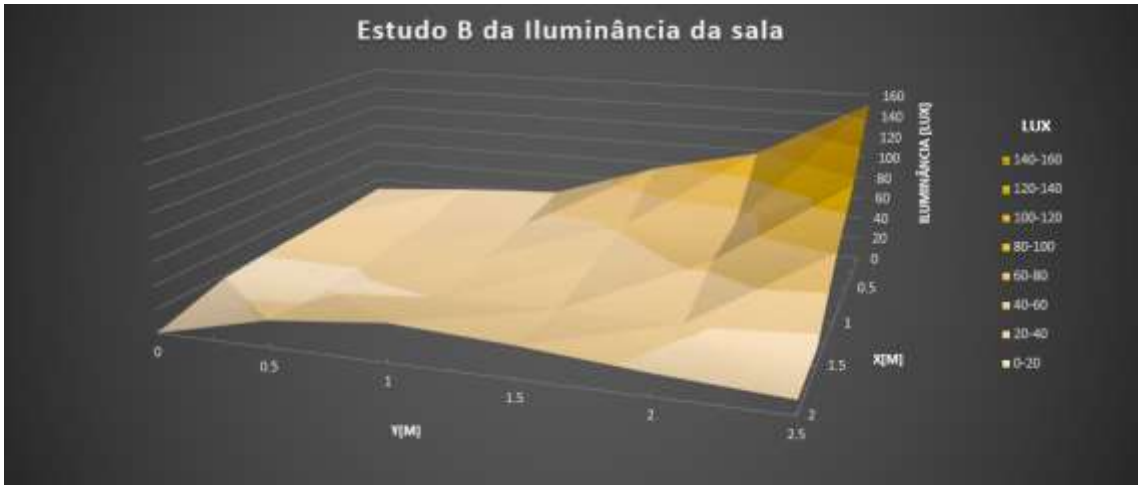

Figura 4.11 - Estudo B da iluminância da sala do FabLab FCT UNL

O estudo B foi realizado exatamente nas mesmas coordenadas da sala que o estudo A com o singular objetivo de observar os efeitos da influência da luz solar para efeitos de iluminação do espaço. A iluminação do espaço tem maior intensidade junto à janela apresentando um valor máximo de aproximadamente 150 lux tal como se observa na Figura 4.11. É de notar que a variação da iluminância não é diretamente proporcional e a ligação entre os pontos que formam os planos dos gráficos tridimensionais da iluminância em cada estudo tenta ilustrar essa proporcionalidade que não é propriamente adequada, mas que transfere a ideia da manta tridimensional da iluminância. De notar que a recolha das amostras nos ambos estudos ocorreu com um intervalo de tempo entre as mesmas, embora curto, poderá causar análise de dados menos conclusivos.

Ao longo do dia em que foram recolhidas as amostras realizou-se o rastreio da iluminação da janela adjacente à sala de estudo. A janela encontra-se virada para a mesma orientação e recebe a mesma quantidade de luz da janela da sala onde se retiraram as amostras. Na Figura 4.12 é possível verificar um pico inicial da iluminância, resultante do contacto direto com os raios solares e o sensor LDR. Ao longo do dia a estrutura do edifício deitou uma sombra sobre o dispositivo LabBox criando uma queda brusca na leitura de dados, passando de 16000lux a 2500lux aproximadamente. Durante os estudos da amostragem da sala a iluminação incidente às 14h teve um valor de aproximadamente 1000 lux. Isto serve-nos como um ponto de referência da iluminação natural.

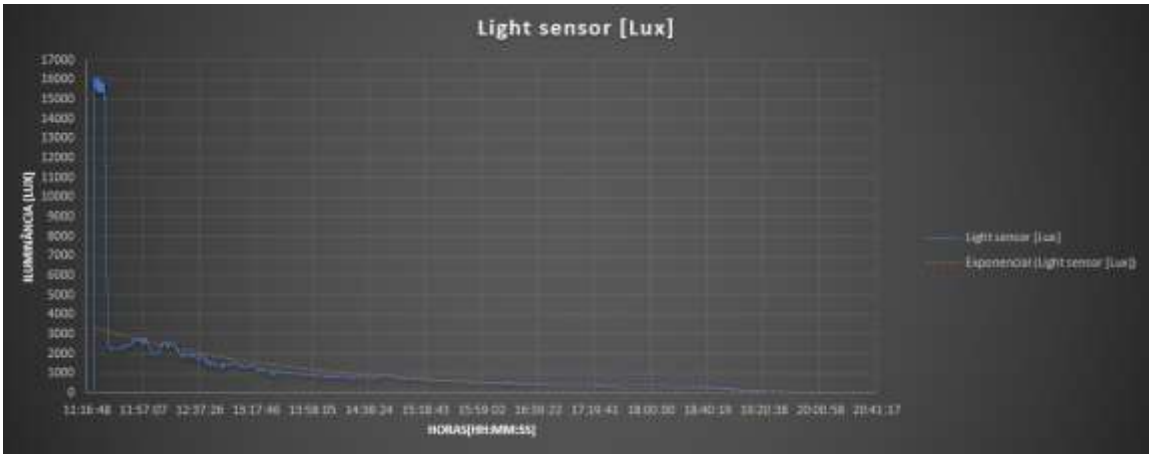

Figura 4.12 - Iluminação incidente na janela adjacente à sala das experiências

Comparando os dois estudos pode apurar-se que a iluminação artificial/elétrica instalada na sala favorece mais a iluminação central do espaço. Contudo, os resultados das amostras não estão perto do valor ideal recomendado para iluminação de um espaço de trabalho com uma máquina de precisão de corte laser recomendada. Segundo a Tabela 4.2 a iluminação ideal para trabalhos de precisão deve rondar os 500 lux. Em função dos dados recolhidos verifica-se que será necessária a instalação adicional de luminárias, preferencialmente por cima das bancadas de trabalho.

Tabela 4.2 - Tabela de recomendações de iluminação de espaços e zonas. Tabela adaptada de [42].

Áreas e classes de local	Mínimo (LUX)	Ideal (LUX)	Máximo (LUX)
Apartamentos			
Quartos	100	150	200
Casas de banho	100	150	200
Salas de estar	200	300	500
Cozinhas	100	150	200
Quartos de trabalho ou estudo	300	500	750
Zonas gerais			
Zonas de circulação e corredores	50	100	150
Escadas, roupeiros, lavatórios, armazéns e arquivos	100	150	200
Instituições de ensino			
Salas de aula e laboratórios	300	400	500

Bibliotecas e salas de estudo	300	500	750
Escritórios			
Escritório, salas de processo, conferência	450	500	750
Grandes escritórios, CAD, CAM, CAE	500	750	1000
Comércios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superfícies, super-mercados, amostras	500	750	1000
Indústria			
Trabalhos com requerimentos visuais limitados	200	300	500
Trabalhos com requerimentos visuais normais	500	750	1000
Trabalhos com requerimentos visuais especiais	1000	1500	2000

5

5 Conclusão e Trabalhos Futuros

De acordo com objetivos inicialmente traçados, o desenvolvimento de dispositivo LabBox permitiu criar um sistema flexível de fácil adaptação a diferentes circunstâncias. Este projeto *open-source* é concretizável com baixos custos de implementação e permite a realização de diversos estudos para análise de dados. O desenvolvimento do projeto tendo por base a arquitetura de Arduino permite aos utilizadores a implementação deste dispositivo utilizando qualquer outro microcontrolador compatível, e sem necessidade de recorrer à fabricação da placa caso não haja possibilidades económicas, escassez de tempo, ou acesso a ferramentas de prototipagem para o desenvolvimento da placa PCB.

O desenvolvimento do dispositivo LabBox foi testado em vários ambientes para a recolha de dados tais como a análise de iluminância de espaços, estudo térmico de aparelhos resistivos, rastreio de condições atmosféricas da superfície do telhado de um edifício de habitação e contagem do fluxo de pessoas que frequentam o FabLab durante um dia. Os testes validaram a facilidade de utilização deste dispositivo que provou uma e outra vez ser robusto na sua composição de pequenas dimensões e com capacidade de alimentação de qualquer fonte de energia portátil de relativamente baixo consumo (média de 35mA) tornando-o facilmente aplicável em situações remotas.

Segundo os trabalhos relacionados de outros autores mencionados no capítulo 2.5, este projeto é lhes semelhante no desenvolvimento da base de Arduino que permite uma vasta compatibilidade e maior facilidade de adaptação face às várias necessidades de cada utilizador.

A rotina de gestão do controlo remoto desenvolvida baseia-se na comunicação entre o dispositivo LabBox e o utilizador por meio da rede de internet. De maneira a reduzir os custos de manutenção de servidores incorporou-se o sistema de comunicação IMAP com base nos servidores de email da Google, deste modo libertando a complexidade de gestão e manutenção de servidores para a comunicação remota. Neste contexto, para maior facilidade de configuração, controlo do dispositivo e monitorização de dados em tempo real é possível usar a interface do

Arduino IDE, assim como a aplicação PC-LabBox *software* especialmente desenvolvida em relação às suas funcionalidades.

Por aprofundamento futuro e de maneira a melhorar os serviços do dispositivo, pretende-se que este tenha a capacidade de ligação à rede internet, tornando-o independente da comunicação do computador local. Seria interessante incorporar a comunicação com base em servidores de IoT gratuitos propostos no capítulo 2.4.1 ou dos servidores de IoT do Arduino [43], permitindo a monitorização remota dos dados em tempo real. Outras interessantes formas de comunicação na implementação do dispositivo, face às necessidades de cada situação, são a comunicação Bluetooth, NFC ou comunicação rádio.

Realizou-se também um curso "FabYourself" [44], organizado pelo FabLab, composto por uma serie de *workshops* com o plano de transmitir o processo de desenvolvimento do dispositivo LabBox, o qual contou com 3 participantes, desde o desenvolvimento da placa PCB a programação do *firmware*.

Por último, os ficheiros relacionados com o projecto de desenvolvimento do dispositivo LabBox estão disponíveis em repositório [45] para usufruto da comunidade científica bem como a partilha e evolução de outras variantes.

6

6 Bibliografia

[1] R. Haag, I. S. Araujo, and E. A. Veit, “Porque e como introduzir a aquisição automática de dados no laboratório didático de física?,” *Física na Esc.*, vol. 6, no. 1, pp. 69–74, 2005, Accessed: Aug. 26, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/268514248_Por_que_e_como_introduzir_a_aquisicao_automatica_de_dados_no_laboratorio_didatico_de_Fisica.

[2] L. F. Zapata-Rivera *et al.*, “Scalable. Ad Hoc, Low Cost, Mobile, Online Laboratories,” in *2018 Learning With MOOCS (LWMOOCS)*, Sep. 2018, pp. 155–158, doi: 10.1109/LWMOOCS.2018.8534612.

[3] A. Krontiris, “Virtual labs – challenges, opportunities and practical lessons learned,” in *2021 9th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, Jun. 2021, pp. 1–4, doi: 10.1109/MPS52805.2021.9492610.

[4] R. Vasiliadou, “Virtual laboratories during coronavirus (COVID-19) pandemic,” *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, vol. 48, no. 5, pp. 482–483, Sep. 2020, doi: 10.1002/bmb.21407.

[5] E. Besada-Portas, J. Bermúdez-Ortega, L. de la Torre, J. A. López-Orozco, and J. M. de la Cruz, “Lightweight Node.js & EJsS-based Web Server for Remote Control Laboratories**This work has been supported by the Spanish National Research Project DPI2013-46665-C2-R1.,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 6, pp. 127–132, 2016, doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.165.

[6] R. Dormido *et al.*, “Development of a web-based control laboratory for automation technicians: The three-tank system,” *IEEE Trans. Educ.*, vol. 51, no. 1, pp. 35–44, 2008, doi: 10.1109/TE.2007.893356.

[7] C. Lazar and S. Carari, “A remote-control engineering laboratory,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 6, pp. 2368–2375, 2008, doi: 10.1109/TIE.2008.920650.

[8] D. Chaos, J. Chacón, J. A. Lopez-Orozco, and S. Dormido, “Virtual and remote robotic laboratory using EJS, MATLAB and LabVIEW,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 13, no. 2, pp. 2595–2612, 2013, doi: 10.3390/s130202595.

[9] L. F. Z. Rivera and M. M. L. Petrie, “Models of collaborative remote laboratories and integration with learning environments,” *Int. J. Online Eng.*, vol. 12, no. 9, pp. 14–21, 2016, doi: 10.3991/ijoe.v12i09.6129.

[10] D. G. Zutin, M. E. Auer, C. Maier, and M. Niederst??tter, “Lab2go - A repository to locate educational online laboratories,” *2010 IEEE Educ. Eng. Conf. EDUCON 2010*, pp. 1741–1746, 2010, doi: 10.1109/EDUCON.2010.5492412.

[11] C. A. Jara, F. A. Candelas, F. Torres, S. Dormido, F. Esquembre, and O. Reinoso, “Real-time collaboration of virtual laboratories through the Internet,” *Comput. Educ.*, 2009, doi: 10.1016/j.compedu.2008.07.007.

[12] “O que é o LabVIEW? - National Instruments.” https://www.ni.com/pt-pt/shop/labview.html (accessed Feb. 03, 2020).

[13] “Beckhoff Automation GmbH.” http://www.beckhoff.de/.(accessed Feb. 03, 2020)

[14] C. Gravier *et al.*, “State of the Art About Remote Laboratories Paradigms - Foundations of Ongoing Mutations,” *Int. J. Online Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 19–25, 2008.

[15] H. Vargas *et al.*, “A systematic two-layer approach to develop web-based experimentation environments for control engineering education,” *Intell. Autom. Soft Comput.*, vol. 14, no. 4, pp. 505–524, 2008, doi: 10.1080/10798587.2008.10643009.

[16] T. Mohiuddin, M. Nawrocki, and R. Bitter, “Introduction to LabVIEW,” in *LabView*, CRC Press, 2006, pp. 1–67.

[17] E. Besada-Portas, J. A. Lopez-Orozco, L. De La Torre, and J. M. De La Cruz, “Remote control laboratory using EJS applets and TwinCAT programmable logic controllers,” *IEEE Trans. Educ.*, vol. 56, no. 2, pp. 156–164, 2013, doi: 10.1109/TE.2012.2204754.

[18] B. Benjamin and B. Brown, “Over-the-Air (OTA) Updates in Embedded Microcontroller Applications : Design Trade- Offs and Lessons Learned,” no. November, pp. 1–7, 2018.

[19] M. Leisenberg and M. Stepponat, “Internet of things remote labs: Experiences with data analysis experiments for students education,” *IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON*, vol. April-2019, pp. 22–27, 2019, doi: 10.1109/EDUCON.2019.8725070.

[20] A. Fernández-Pacheco, S. Martin, and M. Castro, “Implementation of an arduino remote laboratory with raspberry pi,” *IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON*, vol. April-2019, pp. 1415–1418, 2019, doi: 10.1109/EDUCON.2019.8725030.

[21] “ThingsBoard - Open-source IoT Platform.” https://thingsboard.io/ (accessed Feb. 03, 2020).

[22] “Learn More - ThingSpeak IoT.” https://thingspeak.com/pages/learn_more (accessed Feb. 03, 2020).

[23] “5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018 - Smarter With Gartner.” https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/ (accessed Feb. 03, 2020).

[24] S. Haag and R. Anderl, “Digital twin – Proof of concept,” *Manuf. Lett.*, vol. 15, pp. 64–66, 2018, doi: 10.1016/j.mfglet.2018.02.006.

[25] H. R. Iskandar, A. Purwadi, A. Rizqiawan, and N. Heryana, “Prototype development of a low cost data logger and monitoring system for PV application,” in *3rd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy, ICPERE 2016*, Apr. 2017, pp. 171–177, doi: 10.1109/ICPERE.2016.7904864.

[26] E. Alecrim, “Sistemas de arquivos FAT16 e FAT32,” *20 de fevereiro*, 2011. https://www.infowester.com/fat.php (accessed Sep. 19, 2021).

[27] M. S. Hadi, A. N. Afandi, A. P. Wibawa, A. S. Ahmar, and K. H. Saputra, “Stand-Alone Data Logger for Solar Panel Energy System with RTC and SD Card,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1028, no. 1, p. 12065, doi: 10.1088/1742-6596/1028/1/012065.

[28] N. N. Mahzan, A. M. Omar, L. Rimon, S. Z. M. Noor, and M. Z. Rosselan, “Design and development of an arduino based data logger for photovoltaic monitoring system,” *Int. J. Simul. Syst. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 41, pp. 15.1-15.5, 2017, doi: 10.5013/IJSSST.a.17.41.15.

[29] “View of Design and Construction of an Arduino - Based Solar Power Parameter-

Measuring System with Data Logger | ARID ZONE JOURNAL OF ENGINEERING, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT." https://www.azojete.com.ng/index.php/azojete/article/view/206/141 (accessed Sep. 20, 2021).

[30] Jamal Mabrouki "IoT-Based Data Logger for Weather Monitoring Using Arduino-Based Wireless Sensor Networks with Remote Graphical Application and Alerts" https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9321200 (accessed Sep. 20, 2021).

[31] "System-on-chip | Article about System-on-chip by The Free Dictionary." Accessed: Aug. 29, 2021. [Online]. Available: https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/System-On-Chip.

[32] "Seeeduino XIAO - Seeed Wiki." https://wiki.seeedstudio.com/Seeeduino-XIAO/ (accessed Aug. 29, 2021).

[33] D. Cressey, "Age of the Arduino," *Nature*, vol. 544, no. 7648, pp. 125–126, 2017, Accessed: Aug. 26, 2021. [Online]. Available: http://www.nature.com/doifinder/10.1038/544125a.

[34] "XOD." https://xod.io/ (accessed Aug. 29, 2021).

[35] "[MS-FSCC]: 8.3 Filename | Microsoft Docs." https://docs.microsoft.com/en-us/openspecs/windows_protocols/ms-fscc/18e63b13-ba43-4f5f-a5b7-11e871b71f14 (accessed Sep. 14, 2021).

[36] P. T. Sensors, "Precision Temperature Sensors," *Time*, no. April, pp. 1–12, 2004, Accessed: Aug. 29, 2021. [Online]. Available: www.st.com.

[37] Power Lume, "Lúmen, Candela e Lux | Conceitos básicos • Power Lume," 2019. https://www.powerlume.com.br/lumen-candela-e-lux-conceitos-basicos/ (accessed Sep. 01, 2021).

[38] "Design a Luxmeter with an LDR and an Arduino" https://www.digikey.com/en/maker/projects/design-a-luxmeter-with-an-ldr-and-an-arduino/623aeee0f93e427bb57e02c4592567d1 (accessed Aug. 29, 2021).

[39] F. B. Diagram, "Low-Noise Linear Hall-Effect Sensor ICs with Analog Output," p. 13, 2020.

[40] "Engineering Designs for Reduced Costs - MacroFab." https://macrofab.com/blog/engineering-designs-for-reduced-costs/ (accessed Sep. 06, 2021).

[41] "PLA Filament Buyer's Guide | All3DP." https://all3dp.com/1/pla-filament-3d-printing/#section-pla-filament-explained (accessed Sep. 17, 2021).

[42] DicasLed, "Niveis recomendados de iluminação por zonas," 2019. https://www.dicasled.pt/niveis-recomendados-lux/ (accessed Sep. 15, 2021).

[43] K. Söderby, "Getting started with the Arduino IoT Cloud," *Arduino IoT Cloud Documentation*, 2021. https://docs.arduino.cc/cloud/iot-cloud/tutorials/iot-cloud-getting-started (accessed Sep. 20, 2021).

[44] "Fab Yourself | Summer Edition | FCT FabLab." https://www.fctfablab.fct.unl.pt/noticias/2021/06/fab-yourself-summer-edition (accessed Sep. 20, 2021).

[45] "AdrianMoldovann/LabBox." https://github.com/AdrianMoldovann/LabBox (accessed Sep. 20, 2021).