



Sistema de dispensa de medicamentos com plataforma programável

PEDRO PINTO CERQUEIRA

novembro de 2022

Sistema de dispensa de medicamentos com plataforma programável

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Pedro Pinto Cerqueira

Orientação

Lino Manuel Baptista Figueiredo

António José Matos de Meireles

Ano Letivo: 2021-2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto

Resumo

A população mundial está cada vez mais envelhecida e mais medicada, juntando a isso o aumento de doenças e fatores incapacitantes que o ser humano está sujeito, prejudica bastante a capacidade dos mesmos se medicarem corretamente e facilmente. Também os lares, devido às diferentes tipos de dosagens prescritas a cada utente, podem ter dificuldades em gerir todos os tipos e marcas de medicação que têm de administrar diariamente.

Neste sentido foi desenvolvido um dispensador de medicamentos, que não só dispensa as quantidades corretas de medicamentos pedidas, como o faz no horário correto e garantindo a identidade do utente que as pede. Tratando-se de um tema sensível como a medicação de pacientes, é fulcral que as garantias de segurança e precisão nas dispensas sejam a prioridade principal do desenvolvimento.

A utilização de diferentes tipos de controlos de acesso auxilia a garantia da segurança das dispensas efetuadas, não só identificando o utente que está a pedir a dispensa, assim como só permitindo os responsáveis autorizados do sistema abrir o armazenamento do dispensador de comprimidos e efetuar alterações nas rotinas de medicação dos utilizadores.

Finalizando, uma página WEB pode ser acessada onde é permitida a consulta não só variados dados de todos os utilizadores como o historial de movimentos do dispensador, assim como, se pode efetuar a alteração da programação das diferentes dosagens e horários dos utentes.

Este dispensador melhora a tarefa de dispensar medicamentos não só a lares, que têm de gerir grandes quantidades de comprimidos, assim como pode facilitar a medicação em domicílios onde existem pessoas com algumas incapacidades físicas.

Palavras-Chave:

Dispensador de comprimidos, Medicamentos, Controlo Acessos, Inventário, RFID, Impressão digital, Python, Django, Impressão 3D, Lares, Idosos

Abstract

The world population is getting older and more medicated, adding to that the increase in diseases and disabling factors that the human being is subject to, greatly impairs their ability to medicate themselves correctly and easily. Also, nursing homes, due to the different types of dosages prescribed to each user, may have difficulties in managing all the types and brands of medication that they have to administer daily.

In this sense, a pill dispenser was developed, which not only dispenses the correct amounts of medication requested, but also does so at the correct time and ensuring the identity of the user who asks for them. As it is a sensitive topic such as patient medication, it is crucial that guarantees of safety and precision in dispensing are the main development priority.

The use of different types of access controls helps to guarantee the security of the dispensing made, not only identifying the user who is requesting the dispensing, as well as only allowing authorized system managers to open the pill dispenser storage and make changes to the users' medication routines.

Finally, a WEB page can be accessed where it is possible to consult not only various data from all users, but also the history of movements of the dispenser, as well as the possibility to change the schedule of different doses and schedules of users.

This dispenser improves the task of dispensing medication not only to nursing homes, which have to manage large amounts of pills, but it can also facilitate medication in households where there are people with some physical disabilities.

Keywords:

Drug Dispenser, Medicines, Access Control, Inventory, RFID, Fingerprint, Python, Django, 3D Printing, Homes, Elderly

Conteúdo

Conteúdo	i
Índice de figuras	v
Índice de tabelas	ix
Glossário	xi
Agradecimentos	xiii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Calendarização	2
1.4 Organização do relatório	3
2 Estado da arte	5
2.1 Dispensadores de medicamentos	5
2.1.1 Primeiras utilizações de dispensadores de medicamentos .	6
2.1.2 Armazenamento de medicamentos	8
2.1.3 Dispensadores automáticos	10
2.1.4 Disponibilidade de dispensadores de comprimidos e comparação entre eles	12
2.2 Estatísticas e estudos realizados	19
2.2.1 Consumo de medicamentos	19
2.2.2 Fatores debilitantes	21
2.2.3 Impacto de dispensadores eletrônicos	23
2.3 Controlo de acessos	24
2.3.1 Autorização	25
2.3.2 Autenticação	26
2.3.3 Gestão e Monitorização	34

2.3.4	Futuros desenvolvimentos	34
3	Projeto inicial	37
3.1	Arquitetura	38
3.2	<i>Hardware</i>	38
3.2.1	Microcontrolador	38
3.2.2	Leitor de impressão digital	40
3.2.3	Leitor RFID	43
3.2.4	Motores de passo-a-passo - <i>Stepper</i>	44
3.2.5	Seletor de motor <i>step</i>	46
3.2.6	Componentes complementares	48
3.3	<i>Software</i>	48
3.3.1	Comunicação entre microcontrolador e leitores de controle de acesso	48
3.3.2	Python / Django	51
3.3.3	XAMPP e MySQL	53
3.3.4	Autodesk Fusion 360 e Ultimaker Cura	53
3.4	Vetores de teste	54
3.4.1	A correta leitura dos sensores de controle de acesso	54
3.4.2	Funcionamento dos leitores no mesmo microcontrolador	54
3.4.3	Comparação do controle de acesso com a base de dados	55
3.4.4	Comunicação entre interface web e microcontrolador	55
3.4.5	Verificação do funcionamento dos atuadores do sistema	55
3.4.6	Apresentação de dados e interação com base de dados	55
4	Desenvolvimento do protótipo	57
4.1	Projeção de esquemas elétricos	57
4.1.1	Circuitos Dispensador	57
4.1.2	Circuitos Complementares	59
4.2	Programação do microcontrolador	60
4.2.1	Configuração	61
4.2.2	Bibliotecas	63
4.2.3	Dispensa de medicamentos	66
4.2.4	Comandos disponíveis	68
4.3	Software Python	69
4.3.1	<i>Script</i> de interação com Protótipo	70
4.3.2	Interface <i>WEB</i> de controle	82
4.4	Desenvolvimento Físico do protótipo	88
4.4.1	Sistema de dispensa	88
4.4.2	Base	93
4.4.3	Sistema de abertura	95
4.4.4	Partes complementares	96

5	Testes e Discussão de resultados	99
5.1	Funcionamento do dispensador	100
5.1.1	Leitura correta dos controlos de acesso	100
5.1.2	Funcionamento em simultâneo no mesmo microcontrolador	102
5.1.3	Dispensas corretas do dispensador	102
5.2	Interface <i>WEB</i>	104
5.2.1	Comparação dos acessos realizados com as bases de dados e comunicação Interface-Dispensador	104
5.2.2	Apresentação de dados do dispensador e utilizadores . . .	106
5.3	Testes adicionais	117
5.3.1	Ajuste nos valores críticos de medicamentos	117
5.3.2	<i>E-mail</i> de validade expirada numa dispensa	118
5.3.3	<i>E-mail</i> de aviso por falta de comprimidos	118
5.3.4	<i>E-mail</i> de aviso de baixa quantidade de comprimidos . . .	119
5.4	Aspeto final do protótipo	120
5.4.1	Impressão das partes	120
5.4.2	Montagem final	123
6	Conclusão	127
6.1	Apreciação global	127
6.2	Melhorias no projeto	129
6.3	Competências adquiridas	129
	Referências	131

Índice de figuras

2.1	Organizador de pílula de David Wagner (1962) [2]	7
2.2	Organizador de pílula Dialpak da Ortho (1962) [4]	7
2.3	Organizador de medicamentos semanal e diário [5] [6]	8
2.4	Embalagens de comprimidos [7] [8] [9] [10]	9
2.5	a) Gestão por dose - b) Gestão por medicamento	11
2.6	Hero [12]	12
2.7	Medacube [13]	14
2.8	Philips Medication Dispenser [15]	15
2.9	MedTime XL [16]	16
2.10	RxPense Hub [17]	17
2.11	Embalagens de medicação do RxPense Hub [17]	17
2.12	Embalagens de comprimidos prescritas pelo SNS de 1990 a 2018 [19]	20
2.13	Esperança de vida da União Europeia (Portugal destacado) [20] . . .	20
2.14	Índice de envelhecimento de Portugal [21]	21
2.15	Página login do Facebook [34]	27
2.16	Keypad com teclas desgastadas [37]	28
2.17	Keypad com teclas aleatórias [38]	29
2.18	Leitor e tag RFID [40]	29
2.19	Diferentes sistemas de identificação biométrica	31
2.20	a)Leitor de impressão digital - b) Leitor de impressão da mão e c) Leitor de reconhecimento facial [46][47][48]	32
2.21	a) Identificação da íris - b) Identificação da retina [49]	32
2.22	a) Tamanho do implante - b) localização do implante - c) Raio-x de mão com implante[53]	35
3.1	Arquitetura do sistema	38
3.2	a) Arduino Mega 2560 [55] - b) Pinos AtMega2560 [56]	39
3.3	Leitor de impressões digitais FPM10A/DY50 [58]	40
3.4	a) Bifurcação de vale - b) Bifurcação de monte [60]	41
3.5	Esquema de pinos do leitor de impressão digital [61]	42

3.6	Esquema de pinos do leitor de RFID [63]	43
3.7	Esquema de montagem ao microcontrolador [64]	44
3.8	Motor <i>stepper</i> e controlador [65]	45
3.9	Esquema interno do motor <i>stepper</i> [67]	45
3.10	Esquema de pinos do MUX/DEMUX CD4051 [70]	47
3.11	Estrutura de comunicação SPI com vários Slaves [71]	49
3.12	Estrutura de mensagem de comunicação UART [72]	50
3.13	Exemplo de mensagem completa em comunicação UART com [73] .	51
3.14	Estrutura dos ficheiros Django [78]	52
4.1	Esquema do circuito do DEMUX	58
4.2	Esquema do circuito da matriz de transístores	59
4.3	Esquema do circuito dos selecionadores de bobinas	59
4.4	Esquema do circuito do alarme visual	59
4.5	Esquema do circuito da abertura dos compartimentos	60
4.6	Fluxograma do funcionamento base do microcontrolador	61
4.7	Configuração de iniciação de comunicações	62
4.8	Configuração dos pinos do microcontrolador	62
4.9	Configuração do TIMER1	63
4.10	Código C para leitura da <i>tag</i> RFID	64
4.11	Fluxograma do envio da <i>tag</i> para o computador	65
4.12	Código para rodar motores <i>stepper</i>	67
4.13	Sequencia do motor <i>step</i> para fechar compartimentos	69
4.14	Código para alterar estado do alarme visual	69
4.15	Fluxograma de verificações do <i>script Python</i>	71
4.16	Fluxograma de verificação de horário das dispensas	73
4.17	Iniciação de instâncias de rotina	73
4.18	Preenchimento da tabela de histórico de dispensas	74
4.19	Fluxograma de verificação de validade e de processamento das instâncias	76
4.20	Fluxograma de verificação de pedido de dispensa	78
4.21	Lógica fundamental da aplicação Django	82
4.22	Funcionamento de <i>hyperlinks</i> da <i>framework</i>	83
4.23	Resultado da interação entre Python e HTML na <i>framework</i>	84
4.24	Excerto de código da criação de tabelas de ases de dados	87
4.25	Parafuso de Arquimedes [90]	88
4.26	Mecanismo de dispensa de pastilhas elásticas [?]	89
4.27	Dimensões comprimido Diplexil	89
4.28	Dimensionamento do espaço individual e verificação de dimensões do disco	91
4.29	Modelação do disco giratório	92
4.30	Modelação do veio	92

4.31	Modelação da base para disco rotativo (1ª iteração)	92
4.32	Modelação da base para disco rotativo (2ª iteração)	93
4.33	Detalhe dos encaixes da base	93
4.34	Disposição das torres de comprimidos na base	94
4.35	Representação total da plataforma do dispositivo	95
4.36	Tampas e conexão do sistema de abertura	95
4.37	Trave atuada pelo motor de abertura	96
4.38	Caixa protetora com encaixe para placa Arduino	96
4.39	Suporte do motor para o sistema de dispensa	97
4.40	Funil da plataforma do dispensador	97
4.41	Caixa de recolha dos comprimidos	98
5.1	Diagrama funcional do dispensador	99
5.2	Resultado leitura de impressão digital	101
5.3	Resultado leitura de <i>tag</i> RFID	101
5.4	Resultado leitura de ambos controlos de acesso	102
5.5	Mensagem na consola da dosagem disponível e apresentação na base de dados	103
5.6	Mensagem na consola da dispensa da dosagem disponível	103
5.7	Mensagem na consola quando a dispensa não é necessária	104
5.8	a) Consola de interação com o protótipo - b) Consola da interface WEB (caso de identificação correta)	105
5.9	a) Consola de interação com o protótipo - b) Consola da interface WEB (caso de identificação errada)	106
5.10	Barra de hiperligações da interface WEB	106
5.11	Tabela de gestão de utilizadores	107
5.12	Mensagens de consola ao adicionar uma impressão digital	107
5.13	Mensagem de consola ao apagar uma impressão digital	108
5.14	Formulário de registo de utilizadores	109
5.15	Formulário de registo extra para responsáveis	109
5.16	Tabela de gestão de rotinas	110
5.17	Página de detalhes do utilizador	111
5.18	Tabela de rotina de dispensas do utilizador	111
5.19	Tabela de gestão de medicamentos (esquerda - compartimentos fechados / direita - compartimentos abertos)	112
5.20	Tabela de todas as análises determinado utente (imagem editada para ser possível ler o conteúdo)	112
5.21	Tabela das ultimas medições de peso e altura de determinado utente e gráficos complementares)	113
5.22	Tabela de gestão de medicamentos a) Compartimentos fechados - b) Compartimentos abertos	114
5.23	Páginas de dupla verificação para acesso aos compartimentos	114

5.24	Página de adição de medicamentos ao compartimento vermelho . . .	115
5.25	Histórico de dispensas disponibilizadas	115
5.26	Histórico da gestão de comprimidos	116
5.27	Página de login	117
5.28	Ajuste do nível crítico de comprimidos	118
5.29	Mensagem de consola e <i>E-mail</i> recebido por validade de dispensa atingida	118
5.30	<i>E-mail</i> recebido por falta de comprimidos	119
5.31	<i>E-mail</i> recebido por atingir as quantidades de comprimidos de aviso e crítico	120
5.32	a) Segunda versão tampas do dispensador - b) Detalhe do encaixe . .	122
5.33	Aspetto físico do dispensador de medicamentos	124
5.34	Sistemas de dispensa (esquerda) e detalhe (direita)	125
5.35	Sistemas de abertura	125
5.36	Caixa de recolha de comprimidos	126

Índice de tabelas

2.1	Comparação de dispensadores	18
3.1	Lógica DEMUX CD4051 [70]	47
4.1	Cálculo do nível de aviso e crítico do dispensador	77
4.2	Significado dos valores dos indicadores de estado da dispensa	79
4.3	Resultados das verificações de quantidades de medicamentos	80
4.4	Classificação de Índice de massa corporal	87
5.1	Teste sensor de impressões digitais	101
5.2	Partes e tempo de impressão das <i>torres de comprimidos</i>	121
5.3	Partes e tempo de impressão do sistema de abertura	122

Glossário

Abreviatura	Descrição
BD	Base de Dados
DEMUX	Demultiplexador
DAC	<i>Discretionary Access Control</i>
DNA	<i>DeoxyRibonucleic Acid</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EUA	Estados Unidos da América
GND	<i>Ground</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
IMC	Índice de Massa Corporal
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LF	<i>Low Frequency</i>
MAC	<i>Mandatory Access Control</i>
NFC	<i>Near-Field Communication</i>
RBAC	<i>Role-Based Access Control</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
SNS	Serviço Nacional de Saúde
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	<i>Static Random-Access Memory</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
3D	3 Dimensões

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradecer aos meus Pais que sempre me apoiaram em todo o percurso de ensino superior, mesmo quando até eu reconheço que não merecia tanto apoio.

Agradecer também à minha Avó que se foi aguentando perante bastantes dificuldades para poder ver o neto finalmente formado e com a vida orientada.

Um enorme agradecimento aos professores António Meireles e Lino Figueiredo que estiveram sempre dispostos a sacrificar o tempo de forma nobre para me ajudar.

Agradecer por último ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) que pôs ao dispor o curso que me formou e me deu novo conhecimento para a vida que se aproxima.

Capítulo 1

Introdução

A tese proposta foi a criação de um protótipo de distribuição de medicamentos para utentes com necessidades especiais, que permitisse um acesso intuitivo e também a programação facilitada do mesmo por um responsável ou parente do utente em questão. Desta forma foi desenvolvido a criação de um protótipo que melhore a qualidade de vida dos seus utilizadores, sejam estes indivíduos que necessitam ou uma instituição ou organização que beneficie da utilidade deste projeto.

1.1 Contextualização

O projeto proposto tem como objetivo a criação de um dispensador de comprimidos com programação intuitiva para as instituições ou casas que necessitem de um, seja por utentes necessitados ou pela quantidade de comprimidos a gerir. Para isto é necessário existir algum tipo de controlo de acessos ao protótipo, uma plataforma de programação e a dispensa de medicamentos.

O desenvolvimento deste protótipo vai permitir adquirir mais conhecimentos quanto a tecnologias de controlos de acesso assim como de base de dados, pois estes serão os principais temas que permitirão o sucesso neste projeto.

Como alvo complementar também será planeado a utilização de impressões 3D para a criação palpável do protótipo, a criação dum mecanismo dispensador pode ser bastante complexa e mais em contexto de engenharia mecânica do que eletrotécnica, mas compensa a dedicação se resultar num protótipo funcional.

1.2 Objetivos

Para que a realização do projeto seja possível primeiro terá de ser feita uma pesquisa para procurar qual os controlos de acesso disponíveis e que melhor se integra no protótipo desejado. Para que só permita a utilização de utentes previamente identificados e também permita que estes sejam utilizados por utentes debilitados.

Como este projeto prevê a manipulação de grande quantidades de dados relativos aos utentes e aos comprimidos, será necessário a criação de pelo menos três bases de dados. A primeira com o objetivo de registar tanto os dados dos utilizadores e as suas permissões no sistema. A segunda para guardar os calendários de dispensa de medicamentos dos utentes e permitindo a sua alteração, fazendo com que a finalidade do protótipo seja completa. A terceira responsável por guardar as informações e quantidades dos diferentes comprimidos.

Os principais objetivos do projeto passam por:

- Fazer a pesquisa para identificar a melhor tecnologia de controlo de acessos para o protótipo;
- Efetuar a correta configuração desse controlo de acessos e perceber as suas capacidades e limitações;
- Criar as bases de dados necessários para a realização do projeto;
- Implementar a leitura do controlo de acessos juntamente com as bases de dados para que funcionem em conjunto;
- Criar uma interfase para programação dos calendários de dispensa dos utentes do protótipo;
- Desenvolver um mecanismo de dispensa com impressões 3D que ajudem a visualizar a utilidade do protótipo.

1.3 Calendarização

Este projeto foi adiado bastantes vezes por razões do foro pessoal e familiar se intrometeram e portanto teve de ser colocado em segundo pensamento.

O projeto foi iniciado no segundo semestre do ano escolar 2019/2020 podendo ter como data limite a época especial de exames em setembro de 2020.

O plano inicial era começar a pesquisa do estado da arte do projeto no princípio de março, no entanto devido à pandemia que se instalou no mundo

em meados de fevereiro do mesmo ano as atenções tiveram de ser redirecionadas para questões pessoais, fazendo com que o início fosse adiado para finais de abril de 2020.

No entanto, com as condições referidas anteriormente, a apresentação em fase especial foi cancelada por não haver continuidade no projeto. Porém a fase de pesquisa do estado da arte acabou em junho de 2020.

Iniciando a fase de desenvolvimento do dispositivo em setembro de 2020, adquirindo a impressora 3D que foi utilizada em fevereiro de 2021 para iniciar o desenvolvimento físico do protótipo.

A realização dos capítulos em falta do relatório começou em maio de 2021 e foi sendo feita até fevereiro de 2022, onde o contágio de COVID de um familiar e a presença de princípios de demência se sobreporiam a todo este projeto. Sendo repostos a ordem de trabalhos no fim de agosto de 2022 e a finalização do relatório para ser apresentado na fase especial de setembro.

1.4 Organização do relatório

Este relatório é composto por cinco capítulos, o primeiro é referente à introdução do projeto, onde se refere o contexto, os objetivos, a calendarização do projeto e a organização do relatório.

De seguida está o relatório referente ao estado da arte onde vai ser efetuada uma pesquisa detalhada de vários temas relacionados com o projeto, nomeadamente dispensadores de medicamentos e estudos científicos que mostram porque um projeto com este objetivo pode ser útil num futuro próximo. Num patamar mais técnico vai ser apresentado os conceitos de controlo de acessos, apresentando metodologias e vários tipos dos mesmos, comparando os seus prós e contras entre as várias opções.

O terceiro capítulo apresentará a arquitetura e funcionamento geral esperado para o protótipo desenvolvido, justificando as escolhas que foram feitas durante a realização do mesmo, apresentando o hardware e software que vão fazer parte da realização do projeto. Serão também estabelecidos alguns vetores de teste para verificar o sucesso deste projeto.

O capítulo número quatro é destinado a explicação das escolhas feitas no desenvolvimento do código do dispensador e nos programas desenvolvidos, assim como a criação dos modelos 3D.

O quinto capítulo será onde é efetuada demonstração de resultados obtidos aos testes que foram propostos e a apresentação do aspeto físico do protótipo.

Por último serão feitas as conclusões do projeto quanto aos objetivos que foram propostos, assim como discutir as suas limitações, possíveis melhorias

para futuros desenvolvimentos e uma reflexão sobre as capacidades obtidas durante a evolução do projeto.

Capítulo 2

Estado da arte

Neste capítulo é feita uma exposição e análise dos temas relevantes à realização deste projeto. Numa primeira instância vai ser definido o termo dispensador, referida a sua utilização no dia-a-dia e os diferentes tipos de dispensadores disponíveis no mercado, assim como algumas das suas características e comparação final entre os casos encontrados.

De seguida serão referidos alguns estudos que suportam a utilização deste tipo de dispositivos, analisando vários factores demográficos e estatísticos de Portugal como o consumo de medicamentos e a mudança de fatores debilitantes ao longo dos anos, entre outros.

Na fase final deste capítulo vai ser abordado o tema de controlo de acessos direcionado à segurança de equipamentos, quando possível, dando a conhecer diferentes tipos de equipamento para a função assim como as suas funcionalidades.

2.1 Dispensadores de medicamentos

Os dispensadores de medicamentos são equipamentos que têm como função disponibilizar as dosagens de comprimidos para determinado utilizador dentro dos horários corretos.

O desafio de estar bem medicado fica cada vez mais difícil à medida que o paciente vai ficando mais velho. Incapacidades do paciente ou a sua dependência de outros indivíduos tornam esta tarefa aparentemente simples mais complexa, como por exemplo, um paciente que não sabe ler que tem de gerir mais de uma dezena de comprimidos diferentes para toma diária.

A rotina é muitas vezes utilizada para gerir a medicação quando os idosos ainda têm a capacidade para gerir os seus comprimidos, porém qualquer alteração ao aspeto dos comprimidos ou a introdução de um medicamento novo faz com que a ferramenta que se baseia na memória do indivíduo se torne de difícil utilização.

Em contexto de uma instituição, numa dissertação de mestrado para a Universidade da Beira Interior sobre o circuito de medicação em lares, refere que nas quatro instituições estudadas, nenhum armário onde guardavam as caixas de comprimidos estava trancada, a organização das doses para todos os pacientes era efetuada geralmente por 2 ou mais funcionários. Refere também os erros inerentes a este tipo de gestão, o seguinte excerto retirado da dissertação apresenta a situação[1]:

"Mas alguns problemas podem surgir durante esta fase. Um dos factores diz respeito à aparência semelhante de muitos os comprimidos após serem removidos do blíster original, podendo levar a duplicação ou omissão de medicamentos. Outro dos factores prende-se sobretudo com o tempo disponível para esta tarefa e a qualidade desse tempo."

2.1.1 Primeiras utilizações de dispensadores de medicamentos

Antes da invenção de dispensadores de medicação e com a criação da pílula anticoncepcional em 1960, várias mulheres depararam-se com o novo hábito da toma diária de um comprimido.

O inventor norte americano David Wagner do estado de Illinois, a pedido da sua mulher, que no início de 1961 começou a tomar a pílula depois do nascimento do quarto filho do casal, teve como objetivo criar um dispositivo que fizesse com que a mesma não fizesse a dose duplicada da pílula ou falhasse um dia de toma. Isto era um problema porque a pílula era comercializada em garrafas de vidro, sendo difícil a contagem de comprimidos para uma gestão eficiente.

Em 1962, com a ajuda de um advogado de patentes, David Wagner conseguiu patentear a sua invenção, que tinha um mecanismo simples mas eficaz, onde podia suportar 20 pílulas e a sua toma fazia aparecer o dia da semana a que esta correspondia, fazendo com que por dia a sua mulher só se medicasse uma vez. O organizador tinha o aspeto da Figura 2.1, era um dispositivo simples que cumpria o objetivo a que se propôs e que esteve um ano mais tarde no foco central de uma disputa de patentes.



Figura 2.1: Organizador de pílula de David Wagner (1962) [2]

Em 1963, o organizador "Dialpak", mostrado na Figura 2.2, foi lançado juntamente com a pílula "Ortho-Novum" e devido à sua semelhança com a patente de David Wagner, o inventor teve direito a 10 000 \$ (82706,13 \$ ajustado à inflação para 2020) e um valor monetário por cada dispositivo fabricado, evitando assim levar o caso para tribunal [3].



Figura 2.2: Organizador de pílula Dialpak da Ortho (1962) [4]

Estes primeiros dispositivos são as inspirações para os organizadores atuais disponíveis no mercado, a Figura 2.3 mostra dois tipos diferentes de organizadores, que com uma estrutura barata de plástico permitem organizar muitos comprimidos para vários horários de toma, de forma a facilitar a medicação de pacientes. Onde no caso dos organizadores semanais permitem diferenciar cada dia da semana, quando os organizadores diários assumem que todos os dias o utilizador se medica de maneira igual. Cabe ao proprietário do organizador efetuar a reposição correta dos medicamentos nos compartimentos corretos.



Figura 2.3: Organizador de medicamentos semanal e diário [5] [6]

No entanto, não sendo automáticos oferecem algumas desvantagens para pacientes mais debilitados e que não possuam todas as capacidades cognitivas, como a capacidade de saber qual compartimento é o indicado para o horário assim como a reposição correta dos comprimidos.

2.1.2 Armazenamento de medicamentos

A utilização de produtos como dispensadores de medicamentos é precedido pelas condições de armazenamento dos medicamentos. Todos os medicamentos têm um boletim informativo que juntamente com o método de utilização, efeitos e descrição do medicamento, também tem disponível as condições de armazenamento a que estes tem de ser expostos. Estas condições quando garantidas permitem a melhor eficácia para os efeitos dos medicamentos, entre elas estão temperatura, humidade, luz e limpeza.

A recomendação dos laboratórios é a de manter os comprimidos nas embalagens de origem pois estes estão destinados a proteger os medicamentos contra as condições do ambiente, mas como já foi explicado, várias pessoas têm a necessidade de recorrer a um organizador ou dispensador de medicamentos, isso implica que estes dispositivos permitam que a maior parte das medicações sejam armazenadas sem a perda de qualidade.

Diferentes países têm métodos diferentes de distribuir medicação, em Portugal os medicamentos são vendidos em caixas que têm embalagens onde os comprimidos estão selados individualmente, normalmente feitas de plástico e alumínio, já nos EUA grande parte dos medicamentos são vendidos em garrafas onde os comprimidos estão todos armazenados em conjunto, mesmo em ambas as situações as embalagens têm variantes que protegem os comprimidos da luz solar. Isto é feito em Portugal colocando uma película de alumínio dos dois lados da embalagem, já nos EUA os frascos são feitos com um material mais escuro que não permite a penetração dos raios solares para os comprimidos. Na Figura 2.4 está uma representação das diferentes embalagens sem e com proteção contra luz solar.



Figura 2.4: Embalagens de comprimidos [7] [8] [9] [10]

Um compartimento estanque pode permitir uma boa proteção contra a humidade, e um dispositivo opaco ou escuro pode garantir uma boa proteção contra a luz, mas a temperatura é uma condição mais difícil de controlar nos dispensadores.

Quando existem condições de temperatura para medicamentos, normalmente são as de temperaturas médias, por volta dos 20° C, por outro lado, na indústria farmacêutica as condições especiais de temperatura são para que medicamentos estejam sobre a condição de baixas temperaturas sendo que estas normalmente são armazenadas nos frigoríficos e não em dispensadores.

Isto acontece porque instalar uma secção refrigerada nos dispensadores faria o preço de produção subir e por consequência o preço de venda, o que poderia tornar os produtos descompensados no rácio preço/funcionalidade.

É de notar que comprimidos dispersivos ou solúveis também são melhor armazenados nos recipientes originais, visto que uma variação mais brusca na humidade ambiente e se não existir estancabilidade no recipiente, pode levar a que o medicamento se dissolva onde estiver guardado.

Por estas razões é que vários dispensadores não permitem que comprimidos solúveis/dispersivos ou partidos sejam armazenados, pois se existir falha no armazenamento, o pó dos comprimidos pode espalhar-se nos mecanismos do dispositivo e causar uma avaria irremediável no mesmo.

Os medicamentos líquidos seguem o mesmo princípio, devem ser armazenados nos recipientes originais, mas como são menos utilizados para adultos, não existe a necessidade da utilização de organizadores ou dispensadores para dosagem dos medicamentos.

Concluindo, quando os comprimidos não necessitam de condições especiais de armazenamento, não deve existir nenhuma preocupação em armazenar os

mesmos num dispensador, desde que exista cuidado com a limpeza dos compartimentos e a humidade não seja muito elevada [11].

2.1.3 Dispensadores automáticos

Os dispensadores automáticos resolvem alguns problemas de dependência por parte dos pacientes, ao estarem programados para dispensar comprimidos segundo um calendário, retirando a necessidade da gestão direta de medicamentos por parte do utente.

Estes dispositivos automatizados, por serem de utilização intuitiva, facilitam a tarefa de tomar a medicação diária para pacientes, e também ajudam na tarefa de gerir os comprimidos de um parente, fazendo com que este tome as doses certas nos tempos certos, sem correr o risco de falta ou excesso de medicação. Esta tarefa é feita com a programação prévia das dosagens e horários e o correto armazenamento de comprimidos no dispensador.

Ao fazerem um registo de tomas de medicamentos, estes dispositivos podem alertar um responsável que o paciente ou idoso está a faltar na toma da medicação, permitindo que este seja controlado e fazendo com que as consequências desse comportamento sejam mitigadas. Por outro lado também permite que o paciente não duplique as doses de medicamentos ao não o fornecer quando a primeira dose já foi dispensada.

Existem porém duas formas de fazer a gestão dos medicamentos:

- Gestão por dose;
- Gestão por medicamento;

A gestão por dose, permite que o responsável divida as doses para determinados horários, por exemplo, os comprimidos para depois do almoço fazem parte de um compartimento dentro do dispensador, separados dos comprimidos para antes de ir dormir. Quando o utente faz o pedido de uma dose, o dispositivo tem de verificar qual das doses é que estão destinadas para a hora em questão.

Quando as doses acabam o responsável tem de reorganizar as doses e fazer o carregamento do dispensador.

A gestão por medicamento faz com que cada medicamento diferente esteja em diferentes compartimentos, e quando o utente deseja tomar os medicamentos, o horário define quais os medicamentos que são dispensados. Esta programação tem de ser feita pelo responsável, e tem de ser uma programação intuitiva para que a facilidade de utilização destes dispositivos não seja posta em causa.

Na Figura 2.5 estão representados dois modelos de gestão que são mais aplicados aos dispensadores/organizadores de medicamentos, onde na Figura 2.5 a) esta gestão é feita por dose e na Figura 2.5 b) é feita por medicamento.

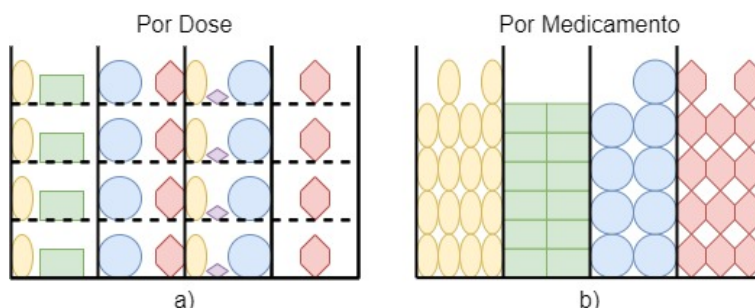


Figura 2.5: a) Gestão por dose - b) Gestão por medicamento

Como se pode verificar, a diferença entre gestões acarreta diferentes configurações de armazenamento para cada caso, no caso da gestão por dose, estas têm de estar separadas por horário, por exemplo, ao acordar, depois das refeições, ao deitar, etc., já o segundo caso tem de ser separado por comprimido. Esta diferença propõe algumas vantagens para cada um dos casos.

Ao existir um pedido de medicação, ambos os dispositivos têm de verificar que horas são, e segundo essa informação fazem a dispensa dos medicamentos, o caso do exemplo 2.5 a) tem de libertar uma das doses para o horário pedido, já o 2.5 b) tem de verificar quais são os comprimidos necessários para essa dose e fazer a dispensa.

No caso de gestão por dose existe o benefício das doses estarem previamente separadas e portanto o dispositivo não tem de processar a informação de qual a composição de cada dose, no entanto essa tarefa recai sobre o responsável, já no gestão por medicamento, como cada compartimento tem o seu tipo de comprimido, o responsável só tem de o repor quando este está a ficar vazio, e a separação das doses fica a cargo do dispositivo.

O caso da Figura 2.5 b) também permite um melhor aproveitamento do espaço de armazenamento, visto que cada compartimento estará a ser bem aproveitado em termos de espaço disponível, já que no primeiro caso uma das doses ter poucos comprimidos resulta numa ineficiente utilização de espaço, como se pode verificar no quarto compartimento da Figura 2.5 a).

Por outro lado a gestão por dose só é limitada ao tamanho dos compartimentos, o que permite uma grande quantidade de comprimidos diferentes, na gestão por comprimido o número de tipos de medicamentos diferentes está limitado ao número de compartimentos, nos exemplos, o

primeiro caso permite 5 medicamentos diferentes com 4 compartimentos, o segundo caso só permite 4 medicamentos diferentes.

2.1.4 Disponibilidade de dispensadores de comprimidos e comparação entre eles

O mercado de dispensadores automáticos oferece muitos competidores visto que tem um público alvo muito específico, e portanto pode ser feita uma comparação entre os produtos mais desenvolvidos e utilizados para efetuar a gestão de medicação.

Estas comparações vão se basear nas funcionalidades de dispensa e carregamento, tipo de gestão, segurança, armazenamento, preço e disponibilidade no mercado, alguns dos dispensadores que serão comparados não são vendidos em Portugal.

Todos os preços foram convertidos para euros segundo as conversões do dia 5 de junho de 2020, para uma representação mais intuitiva em Portugal.

2.1.4.1 Hero

O primeiro dispensador é o Hero, mostrado na Figura 2.6, apenas disponível nos Estados Unidos da America (EUA), que faz a gestão por comprimido. Este dispositivo custa 88,17 €, porém também é necessário um pagamento mensal de 26,45 €, com uma fidelização de 12 meses no mínimo. Esta subscrição oferece a entrega dos comprimidos em casa quando estes estão a acabar no dispensador, sendo o pedido feito automaticamente pelo Hero, o que pode compensar o pagamento mensal.



Figura 2.6: Hero [12]

A capacidade do dispositivo é de 10 tipos de comprimidos diferentes, onde podem ser armazenados no máximo 900 comprimidos, isto é, no máximo 90 comprimidos por compartimento, dependendo do tamanho dos mesmos. No entanto não é capaz de suportar líquidos, parcelas de medicamentos (i.e. meio comprimido), comprimidos em pó e comprimidos não rígidos (i.e. comprimidos mastigáveis).

O modo de funcionamento passa por ativar um alarme e acender uma luz intermitente para avisar que está na hora de tomar a medicação, o utente têm de carregar no botão central do dispositivo para receber a dose a tomar, este aviso também pode ser programado para lembrar a toma de medicação que não pode ser armazenada no Hero. As dispensas de comprimidos estão limitadas a 10 por dia.

Este dispensador tem como complemento uma aplicação de *smartphone* onde o encarregado monitoriza o calendário de medicação do paciente, e recebe avisos quando existe uma falha na toma da dose calendarizada, o que permite manter o utilizador na medicação pretendida e previne alguma complicação de saúde por falta de medicação.

Cada dispositivo pode estar associada a várias contas de *e-mail* de responsáveis, protegidas por *passwords*, a programação do calendário de medicação é feita num site criado para o efeito, e como segurança os compartimentos de armazenamento de comprimidos estão protegidos por uma chave específica ao dispositivo, que ficará na disposição do encarregado [12].

2.1.4.2 Medacube

O Medacube é um dispensador bastante semelhante ao Hero, também utiliza gestão por comprimidos e também faz utilização de uma aplicação de *smartphone*, por outro lado a maior diferença é o preço, o pagamento é de 1321,83 €, não necessita de subscrição mensal. Este preço, para quem pretende fazer uso ao dispensador por mais de 4 anos, pode ser compensador, visto que ao fim desse período o Hero fica mais caro. O seu aspeto está demonstrado na Figura 2.7.

Entre outras diferenças está o armazenamento, que é maior e mais flexível podendo armazenar 16 tipos de comprimidos diferentes, os compartimentos disponíveis têm diferentes tamanhos, podendo ter 16 compartimentos pequenos, 8 grandes ou qualquer combinação possível dos dois (visto que os grandes têm o dobro do tamanho dos pequenos). Os compartimentos pequenos podem ter 90 comprimidos no máximo, fazendo o total máximo de comprimidos no dispensador ser de 1440.



Figura 2.7: Medacube [13]

O dispensador tem o funcionamento semelhante ao anterior, avisando o utilizador na hora da dose e só faz a dispensa depois deste carregar no ecrã interativo, o número de dispensas está limitado a 20 por dia.

A programação do dispositivo é feita no próprio, com auxílio do ecrã tátil, e à semelhança do Hero tem uma chave que faz o acesso aos compartimentos de armazenamento.

Esta opção embora esteja referida para uso apenas nos EUA pelo fabricante, existem dispensadores à venda na Amazon para todo o mundo [14].

2.1.4.3 Philips Medication Dispenser (Philips MD)

Apenas disponível nos EUA, o Philips Medication Dispenser é o mais antigo dos dispensadores aqui descritos (2004), como se pode verificar pelo aspeto típico de equipamentos eletrónicos demonstrados na Figura 2.8, não tem preço inicial mas é necessário um pagamento mensal de 52,86 €.

Faz uma gestão por dose, os comprimidos são inseridos na máquina em pequenos copos (previamente enchidos pelo encarregado), e têm uma capacidade para 6 doses por dia para 10 dias. Se as doses por dia forem 3 ou menos, pode-se carregar mais doses até todos os compartimentos estarem cheios. Quando as doses acabarem o enchimento da máquina tem de ser feito novamente com ajuda do texto do ecrã.



Figura 2.8: Philips Medication Dispenser [15]

O tipo de armazenamento deste aparelho pode trazer problemas porque os copos têm de ser inseridos por ordem de toma, e qualquer falta de atenção pode ser responsável por trocar a ordem da medicação e poderá causar problemas se o erro for recorrente.

Como os dispensadores anteriores, este necessita do apertado de um botão para o medicamento ser dispensado depois de ser ativado o alarme sonoro e luminoso do aparelho e também dispõe de uma chave para acesso aos compartimentos.

Sendo um dispensador mais antigo, não tem disponível uma aplicação de gestão e necessita de ligação a uma linha de telefone para funcionar, o que pode ser considerado antiquado [15].

2.1.4.4 MedTime XL

O MedTime XL, portátil forma circular mostrada na Figura 2.9, foi inventado na Suécia e pode ser enviado para todo o mundo. É um dispensador menos automatizado que os anteriores, e como o dispensador da Philips, faz a gestão por dose, permitindo o armazenamento máximo de 28 doses, e as doses por dia são limitadas ao armazenamento do aparelho.

O dispensador é protegido com uma chave que pertence ao encarregado e este pode configurar quantas doses são pretendidas ao dia e a que horas são dispensadas, o relógio do aparelho também tem de ser configurado.



Figura 2.9: MedTime XL [16]

Sendo um aparelho menos automatizado, a dispensa é feita de uma maneira simples, quando o alarme soa, o paciente levanta o dispensador e inclina-o para que os medicamentos da dose caiam da abertura do MedTime. O preço também reflete as suas funcionalidades, ficando por 343,86 €, e como não possui qualquer tipo de comunicação para o exterior do dispensador não existem avisos caso uma dose seja ignorada, fazendo os compartimentos rodar e passar para a próxima dosagem [16].

Os 28 compartimentos para doses foram pensados em servir 7 dias com 4 doses por dia, mas a programação do aparelho pode fazer o calendário de dosagens ser bastante variado.

2.1.4.5 RxPense Hub

O RxPense Hub, que pode ser visto na Figura 2.10, é o dispensador mais semelhante ao que este projeto procura desenvolver, pois está orientado para o tema da *Internet of Things* (IoT). Fabricado pela empresa Medipense sediada no Canadá, este dispensador está desenvolvido para ser usado em uso doméstico pois o armazenamento dos medicamentos é feito por dose. O dispensador tem capacidade para 4 doses por dia para 1 semana de medicamentos, está equipado com um sistema de alarme por chamada, sms ou *e-mail* para os responsáveis poderem monitorizar os utilizadores. É também o único dos dispensadores pesquisados que necessita dos dados biométricos do utilizador antes de dispensar a dose.



Figura 2.10: RxPense Hub [17]

O dispensador só está disponível para venda nos EUA ou no Canadá, visto que o reabastecimento das embalagens, mostradas na Figura 2.11, são introduzidas no dispensador obrigatoriamente por um farmacêutico da empresa Medipense, o que em princípio acarreta pagamentos mensais. O preço do dispensador em si não foi possível de verificar mas existe uma subscrição a serviços relacionados com o RxPense Hub que custam 9,95 €/mês. Sempre que o dispensador verifica que está a ficar sem doses armazenadas é enviado um aviso para a farmacêutica fazer a preparação das próximas doses que podem ser enviadas para as casas dos utentes.



Figura 2.11: Embalagens de medicação do RxPense Hub [17]

Este dispensador, dentro dos estudados, é sem margem de dúvida o mais desenvolvido do mercado, disponibilizando várias opções de acessibilidade que permitem aos utentes personalizar a sua experiência com o dispensador. Uma das características mais impressionantes é a capacidade de efetuar videochamadas com o dispensador para comunicar com o utente para uma monitorização eficaz. A empresa também oferece diferentes serviços relacionados com a vida de pessoas debilitadas ou idosas no que diz respeito a cuidados médicos.

2.1.4.6 Comparação

Apresentadas algumas das opções de mercado é possível efetuar uma comparação mais sucinta, a Tabela 2.1 mostra as diferenças entre tipos de gestão, capacidade de armazenamento, número de doses por dia e preços dos diferentes dispensadores.

Tabela 2.1: Comparação de dispensadores

Dispensador	Hero	Medacube	PhilipsMD	MedTimeXL	RxPense
Gestão	Compr.	Compr.	Dose	Dose	Dose
Capacidade	900 cp.	1440 cp.	6 d.	28 d.	28 d.
Doses diárias	10	20	6	4	4
Preço inicial	88,17 €	1321,83 €	0 €	343,86 €	Desc.
Mensalidade*	26,45 €	0 €	52,86 €	0 €	9,95 €

* - Pagamento efetuado ao provedor do serviço mensalmente

Como foi referido a gestão por comprimidos permite uma maior quantidade de comprimidos armazenados no aparelho, como consequência, existe um maior intervalo de tempo entre carregamentos.

Em termos monetários, uma maior automatização implica um maior gasto, dentro destas opções o Philips MD parece ser o menos apelativo devido ao rácio funcionalidades/preço. Como foi referido o Medacube compensa o investimento inicial, em relação ao Hero, se a utilização ultrapassar os 4 anos e em relação ao Philips MD se ultrapassar os 25 meses (2 anos e 1 mês). Para uma opção mais simples e portanto mais barata o MedTime XL parece ser uma boa alternativa. Não sabendo o custo inicial do RxPense este fica fora das comparações neste aspeto.

É possível verificar que para dispensadores mais recentes é cada vez mais comum existir uma interface para *smartphone*, o que permite que o encarregado faça um controlo dose-a-dose para o bem da saúde do utente.

É de notar que durante toda a pesquisa apenas foi encontrada uma opção em que se realiza controlo de acesso à pessoa que retira os medicamentos, existindo a possibilidade de qualquer indivíduo fazer a recolha dos medicamentos nos que não possuem essa característica, o que pode ser um benefício em alguns casos, mas um caso onde exista uma criança na casa e este tente recolher os comprimidos não há nada que o impeça. Isto é visto como um grande defeito de segurança nestes dispositivos e seria boa prática alguma identificação necessária na recolha dos comprimidos.

Como nota final embora alguns destes dispensadores possam ser programados para ser usado por vários utentes, nenhum deles é destinado ao uso em instituições, nem permite fazer alguma recolha de dados para monitorizar os utilizadores num espaço de tempo maior, este projeto propõe-se

a desenvolver um dispensador com mais características do tema IoT e melhor preparado para a utilização por instituições com vários utentes.

2.2 Estatísticas e estudos realizados

A utilização de dispensadores pode ser cada vez mais justificada quando o mundo assiste ao aumento de vários factores que a existência de um dispensador automático poderia beneficiar os utilizadores ou instituições que o possuem. Alguns estudos já foram feitos ao impacto da existência de um equipamento. De seguida é demonstrado várias análises de estatísticas feitas nos últimos anos que apoiam a hipótese de dispensadores medicinais poderem vir a ser um bem de necessidade pública assim como uma análise a alguns estudos no impacto da utilização de um dispensador automático.

2.2.1 Consumo de medicamentos

O consumo de medicamentos em Portugal tem vindo a aumentar em Portugal, segundo o Infarmed no ano de 2018 existiu um consumo de mais de 4 milhões de embalagens de medicamentos do que em 2017 [18]. Este é um aumento que pode ser preocupante visto que, por esta altura é sabido que alguns idosos já são medicados com dezenas de medicamentos diários, se este aumento continuar, o doseamento de medicamentos pode tornar-se cada vez mais difícil de gerir devido à quantidade variada de comprimidos que a população, principalmente a idosa, estará submetida.

Este aumento é uma tendencia continuada, segundo investigações do Infarmed, num intervalo de 20 anos (1998 - 2018) existiu uma diferença de mais de 52.2 milhões de embalagens prescritas pelo Serviço Nacional de Saúde (SNS) em Portugal continental, como mostra o gráfico da Figura 2.12.

Este aumento pode criar um futuro em que a gestão de medicação se torne, de alguma forma, impossível. Estes fatores, aliados ao aumento da esperança de vida que se tem verificado, demonstrado na Figura 2.13 com a diferença dos valores de Portugal desde 1960 até 2018 e do aumento do índice de envelhecimento de Portugal, representado com tendencia ascendente na Figura 2.14, é esperado que grande parte do aumento da medicação seja alocada à faixa etária mais velha no país.

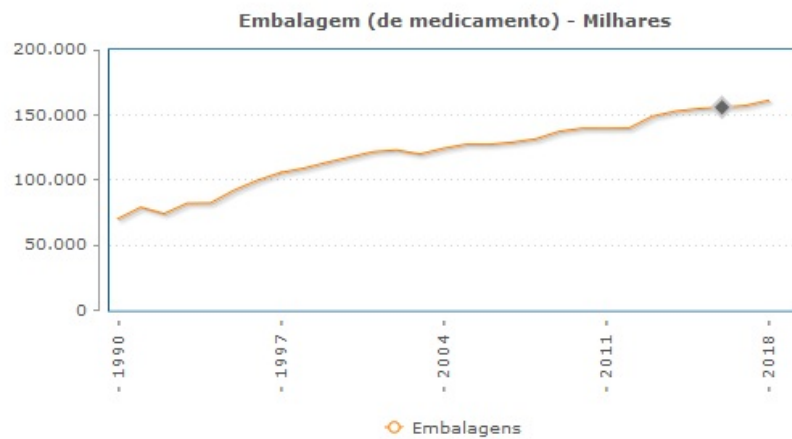


Figura 2.12: Embalagens de comprimidos prescritas pelo SNS de 1990 a 2018 [19]

Como se pode verificar nos gráficos seguintes, em aproximadamente 50 anos a esperança de vida à nascença subiu consideravelmente, de 64 anos para 81,5 anos. Assim como o índice de envelhecimento que reflete o rácio de idosos para jovens, sendo que para cada 100 jovens, em 2018, existiam 157,4 idosos, com tendência a aumentar em Portugal.

Os fatores que foram demonstrados podem ser utilizados como impulsionadores de dispensadores automáticos de medicação, mostrando que no futuro podem ser dispositivos de bastante relevância na vida dos portugueses, principalmente nos mais velhos.

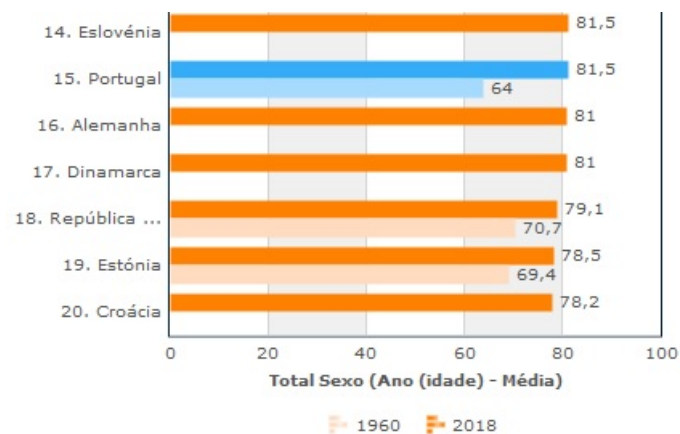


Figura 2.13: Esperança de vida da União Europeia (Portugal destacado) [20]

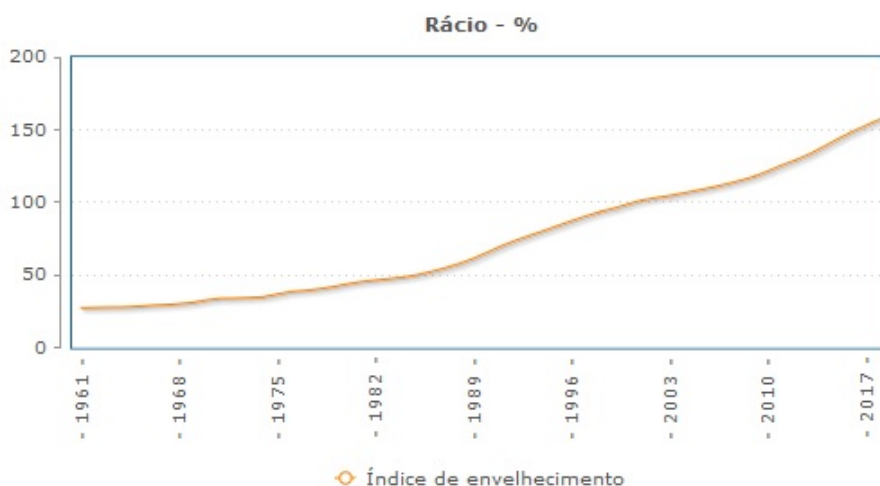


Figura 2.14: Índice de envelhecimento de Portugal [21]

2.2.2 Fatores debilitantes

Existem vários fatores que incapacitam as pessoas de fazerem a gestão dos seus medicamentos, alguns fatores de natureza física, outros psicológicos, cognitivos ou sociais.

Os fatores físicos são os que não permitem que a pessoa possa realizar a gestão dos seus medicamentos devido a algum fator motor que ou não permita distinguir os comprimidos ou dificulte a sua movimentação, exemplos disso, doenças degenerativas ou a inexistência de membros/mãos.

Dois exemplos disso são, a doença de Parkinson e a deficiência visual, o primeiro caso afeta o sistema nervoso mas as suas consequências manifestam-se no sistema motor, é caracterizada por tremores nos músculos em repouso, os movimentos musculares tornam-se mais lentos, existe maior rigidez muscular, e pode causar dificuldade de equilíbrio. É também uma doença progressiva, o que significa que tende a piorar com a passagem do tempo.

Em Portugal, é estimado que 20.000 pessoas sofram desta doença [22], sendo mais impactante nas faixas etárias mais velhas, sendo presente em 1 a cada 100 pessoas a partir dos 65 anos e em 1 a cada 10 pessoas a partir dos 80 anos [23].

Esta doença, numa fase mais avançada torna impossível o manuseamento de caixas de medicação, os tremores tornam difícil a tarefa de gerir várias caixas de medicamentos ou comprimidos. Um dispensador pode ajudar se a ação de pedir os medicamentos for facilitada, como o pressionar de um botão, e os medicamentos serem automaticamente doseados, permitindo o correta doseamento sem a necessidade de alguém organizar a medicação previamente ou correr o risco de espalhar medicação pela casa.

Outro fator é a deficiência visual, segundo um estudo feito em 2018 pela Universidade Nova de Lisboa existem em Portugal cerca de 42.000 pessoas que sofrem de cegueira total e mais 260.000 que sofrem algum tipo de perda moderada ou grave de visão [24].

Todas as embalagens de medicação são obrigadas a ter escrita braille para os invisuais, mas várias em situações o invisual não irá aprender esta linguagem, seja pela idade em que se tornou invisual ou problemas cognitivos, dentro de outros fatores [25].

Se os medicamentos tivessem formas variadas este problema era menos evidente, mas na realidade muitos comprimidos são indistinguíveis ao tacto. Quando o indivíduo sabe ler braille, o método de deixar os medicamentos nas embalagens originais pode ser aplicado, desde que este tenha cuidado quando manuseia os seus medicamentos. No caso de não saber braille a tarefa fica consideravelmente mais difícil e um dispensador automático de medicação pode ajudar nesta tarefa.

Os fatores psicológicos são geralmente mais difíceis de ultrapassar, pois alguns são capazes de erradicar qualquer tipo de organização diária de tarefas, doenças como a demência ou a doença de Alzheimer fazem o paciente incapaz de manter uma rotina de medicação, mas nas fases iniciais, onde apenas existe lapsos de memória, um dispensador de medicação pode ajudar os indivíduos a lembrarem-se dos seus doseamentos diários.

"A Doença de Alzheimer é um tipo de demência que provoca uma deterioração global, progressiva e irreversível de diversas funções cognitivas." [26]. É assim que a Associação Portuguesa de Familiares e Amigos dos Doentes de Alzheimer definem esta doença que afeta de 193.000 a 205.000 portugueses atualmente com tendência a aumentar devido à evolução mais eficaz do seu diagnóstico, podendo atingir números de 322.000 casos no ano de 2037 [27].

Os factores cognitivos são variados, como exemplo o analfabetismo. Esta realidade afeta 5,2% da sociedade portuguesa segundo dados do Census de 2011 [28]. Este fator tem tendência a diminuir com a evolução da educação em Portugal, mas continua a afetar muitos indivíduos, principalmente idosos que não tiveram a escolha de ter uma educação adequada. Assim como os dispensadores ajudam vários indivíduos com deficiências motoras e psicológicas, estes indivíduos também podem usufruir de uma melhor qualidade de vida com a utilização destes dispositivos.

Um fator social que dificulta a gestão de medicamentos são as instituições responsáveis por utentes que tenham outras debilidades, como por exemplo lares...

2.2.3 Impacto de dispensadores eletrônicos

Durante a pesquisa para este projeto foi encontrado um artigo que analisa algumas literaturas sobre a utilização de dispensadores eletrônicos para adultos de idade avançada. Entitulado "What does the literature say about using electronic pillboxes for older adults? - A systematic literature review" e escrito por Antonio Miguel-Cruz, Andrés Felipe Bohórquez e Pedro Antonio Aya Parra numa colaboração entre a Escola de Medicina e Ciências Médicas da Universidade de Rosario em Bogotá, Colombia e da Faculdade de Medicina de Reabilitação da Universidade de Alberta, Canadá [29].

Neste estudo são analisados alguns papéis acadêmicos que fossem elegíveis ao estudo e que permitissem responder a duas questões, qual é a prova clínica do impacto dos dispensadores eletrônicos e qual era o nível de preparação tecnológica desses dispensadores para adultos de idade avançada.

Os artigos analisados teriam de obrigatoriamente ser publicados em *peer-review journals* e teriam de obedecer a um conjunto de parâmetros definidos pelos autores, entre esses parâmetros, só artigos realizados a partir do ano de 2005 ou os dispensadores teriam de ser utilizados por pessoas com mais de 50 anos, etc..

Este estudo resultou em uma comparação dos resultados clínicos dos artigos elegíveis, onde apenas 33,3% dos estudos obtiveram resultados positivos ou esperados, sendo que 40% teve resultados negativos ou inesperados e 26,7% resultados mistos ou inconclusivos, o que não apoia a integração destes equipamentos, porém é revelado que os maus resultados podem ser mais devido ao design e tecnologia utilizada nos equipamentos experimentados do que a baixa necessidade dos utilizadores.

Curiosamente os resultados obtidos pelos diferentes estudos envolvidos neste artigo têm diferentes resultados consoante o quadro clínico do utilizador, isto é, a aderência em utilizadores com um transplante de rim num dos estudos foi forte [30]. Por outro lado, pacientes com múltiplas condições crónicas não obtiveram um alto nível de aderência com o equipamento eletrónico [31], porém este estudo refere que o grupo de controlo teve resultados de aderência superiores ao esperado e por isso não obteve grande diferença na utilização dos equipamentos eletrónicos.

O estudo sugere que vários dispensadores utilizados teriam compartimentos muito pequenos o que dificultava o ato de retirar a medicação do equipamento por parte dos utilizadores, assim como alguns não possuíam vários métodos de alarme para utilizadores com dificuldades auditivas ou visuais.

A área da criação de equipamentos de dispensa automática de medicamentos poderia estar melhor desenvolvida para que fosse possível

verificar a sua utilidade de maneira mais objetiva.

Concluindo, as estatísticas demonstradas anteriormente juntamente com o futuro aumento de pessoas idosas tecnologicamente mais hábeis e com o merecido desenvolvimento destes equipamentos eletrônicos é relativamente seguro propor que no futuro estes equipamentos poderão vir a ter uma presença mais notória e útil na vida dos utilizadores e instituições necessárias.

2.3 Controlo de acessos

A ideia inicial deste projeto contempla a introdução de alguns tipos de controlos de acesso, para que possa ser feita a identificação do utilizador do dispensador de comprimidos e as suas permissões sobre o mesmo sejam confirmadas. Esta secção tem como objetivo uma pesquisa entre os variados métodos de controlos de acessos assim como explicação dos métodos utilizados pelos mesmos para garantir uma melhor segurança nos sistemas onde estão implementados.

O controlo de acessos é uma ferramenta utilizada cada vez mais na atualidade para que variada informação ou tarefa só seja acedida pelas pessoas previamente permitidas e, em alguns casos, garantir que não exista diferenças entre a pessoa permitida e a que está a aceder ao serviço.

Este conceito existe à muitos séculos, desde que um indivíduo não esteja permitido a aceder alguns equipamentos privados, um exemplo são os cofres de valores que estão, em maior número, protegidos por um teclado que espera a introdução do código de acesso e que confirmam que têm permissão para o fazer. Porém com o evoluir da tecnologia o controlo de acessos tem se tornado mais meticuloso e seguro, também impulsionado pela segurança digital a que o mundo está submetido. Cada vez mais existe mais informação privada e sensível no mundo digital e a tecnologia de controlo de acessos tem de acompanhar adequadamente a sua evolução.

Existem várias metodologias associadas à tecnologia, que permitem que o controlo de acessos seja feito corretamente [32].

- Autorização - Decisão de quem têm permissão para aceder a determinado equipamento ou informação, normalmente feita pelo gestor dos acessos. Estas permissões podem ser atribuídas de várias formas que serão apresentadas posteriormente;
- Autenticação - Aceitação ou rejeição de acesso ao indivíduo que pede permissão para aceder ao equipamento ou informação, garante que o acesso só seja dado a quem tem a autorização para tal. Existem vários tipos de autenticação que serão apresentados posteriormente;

- Acesso - Ação de desbloqueio do acesso ao equipamento ou de apresentação de informação para quando o processo de autenticação é aceite, ou da ativação de um alarme quando este é conseguido sem a permissão necessária;
- Gestão de acessos - Esta é a metodologia a que o gestor de acessos está encarregado, para distribuir as autorizações aos indivíduos da organização, aqui pode permitir e negar, permanentemente ou temporariamente os acessos ao equipamento ou informação que se pretende proteger;
- Monitorização - A funcionalidade que permite rever o histórico de acessos que foram feitos ao sistema em questão, frequentemente observado por agentes de segurança a que o gestor do sistema também tem acesso. Permite rever falhas no sistema e manter em segurança no equipamento ou informação;

2.3.1 Autorização

Como foi referido a permissões de acesso a um sistema podem ser distribuídas de variadas formas, existindo 3 principais tipos, o controlo de acessos discricionário (DAC - *Discretionary Access Control*), controlo de acesso mandatório (MAC - *Mandatory Access Control*) e controle de acesso baseado em função (RBAC - *Role-Based Access Control*).

O DAC é um tipo de controlo que necessita que o proprietário do sistema decida quem tem permissões de acesso, isto obriga a que qualquer sistema deste tipo seja alocado a um proprietário, e qualquer localização física ou digital sem este está desprotegido.

As decisões de autorização são tarefa desse proprietário, que gere as permissões do seu sistema como preferir, a maior falha de segurança é o sistema ser invadido em nome do proprietário, podendo as permissões serem totalmente alteráveis.

O MAC não necessita de um proprietário, sendo que as permissões ficam a cargo do próprio sistema, sendo utilizados em situações onde a confidencialidade é importante, i.e. sistemas ou equipamentos militares.

Cada indivíduo é caracterizado pelo seu nível de sensibilidade assim como os locais/informação que se pretende proteger, sendo que existem vários níveis de sensibilidade, e para receber permissão para acesso o indivíduo tem de ter um nível igual ou superior ao nível do que pretende aceder.

O sistema tem programado os vários níveis de sensibilidade que têm de ser progressivos e não-cíclicos, para permitir que a autorização seja feita

corretamente, fica a cargo do sistema definir se o indivíduo pode aceder ao que pretende comparando as diferentes etiquetas de sensibilidade, não estando essas permissões definidas previamente.

O RBAC é o mais utilizado no mundo atual sendo um híbrido dos 2 tipos de sistemas anteriores, onde um proprietário define as permissões de certos grupos de pessoas numa organização, sendo que cada grupo tem determinadas permissões de acesso, e por fim os indivíduos são incluídos em um ou mais grupos dependendo da sua função na organização.

Essas permissões podem ser geridas pelo proprietário, e os indivíduos podem ser deslocados entre grupos, dando flexibilidade ao sistema. Este tipo de sistema é preferível porque as permissões são associadas a uma função na organização e os diferentes indivíduos são associados às funções, facilitando a gestão e diminuindo a repetição da alocação de permissões no registo de novos indivíduos [33].

2.3.2 Autenticação

Quando um usuário efetua o pedido para aceder a um equipamento ou informação, o sistema tem de garantir que este tem a permissão para tal, a autenticação garante que as qualificações necessárias para tal são encontradas e verifica se a autorização é positiva. Variadas aplicações de controlo de acesso tem diferentes requisitos em termos de identificação e segurança, e existe uma solução para todas as aplicações, mesmo que seja a instalação de vários métodos de autenticação.

2.3.2.1 Passwords/Keypads

Dentro das variadas opções utilizar *passwords* ou *keypads* (i.e. teclados numéricos) serão um método de simples instalação mas de baixa segurança, que em alguns casos não necessita de identificação exclusiva do utilizador destinado.

As *passwords* normalmente são aplicadas a controlo de acesso a informação em computadores e dentro desta categoria é das que pode requerir identificação através de correio eletrónico pessoal. Existem várias aplicações deste método na internet, as redes sociais são prova disso mesmo. Quando o registo é efetuado, tem de se fornecer variadas informações pessoais juntamente com o *e-mail* pessoal e uma *password*. Estes dados funcionam como autenticação para entrar na conta do utilizador em questão, sendo o acesso feito por quem tiver as informações de acesso, o pedido pelos dados do utilizador pode verificar-se, por exemplo, na página de login da rede social Facebook mostrada na Figura 2.15.



Figura 2.15: Página login do Facebook [34]

Este método quando utilizado isoladamente tem vários problemas de segurança. visto que basta um intruso saber estes dados para efetuar um acesso não autorizado pelo proprietário, esta situação é agravada se o indivíduo utilizar as mesmas informações de acesso para outros *websites*, tornando o acesso universal da vida digital mais fácil. Sabendo que no ano de 2019 existiram cerca de 131 fugas de informação digitais relativas a *e-mails* e *passwords* e tendo em conta que uma destas fugas expôs cerca de 773 milhões de *e-mails* e 22 milhões de *passwords* no dia 17 de Janeiro de 2019 [35], cada vez mais existe a procura de métodos para tornar esta opção mais segura nos sistemas em que se aplicam. Para prevenir este tipo de falhas de segurança alguns sites tornam o login um processo de 2 etapas, onde a primeira é introduzir as informações de acesso e de seguida um código é enviado para o *e-mail* do proprietário que o terá de inserir para ter acesso à sua conta pessoal, isto não evita que uma invasão aconteça mas informa o proprietário que existiu uma tentativa de acesso que em primeira instância foi sucedida [36].

Por outro lado os *keypads* têm um funcionamento mais endereçado a controlos de acesso físico, como o acesso a cofres domésticos e semelhantes. Geralmente são sistemas que têm uma sequencia de números ou símbolos determinados previamente pelo dono, que ao serem inseridos corretamente dão acesso ao equipamento pretendido. O mais comum é que estes códigos sejam de 4 números o que deixa ao dono a possibilidade de escolher em 9.999 códigos diferentes, o que torna a adivinha do código uma probabilidade reduzida.

No entanto este método também tem as suas falhas de segurança, quando aplicados isoladamente, e como com as *passwords*, basta o intruso saber o código para aceder ao equipamento. No entanto também existem características físicas que podem facilitar a adivinha do código de acesso, com o passar do tempo, o introduzir do mesmo código repetidamente faz com que as teclas do *keypad* se tornem desgastadas como no exemplo da Figura 2.16, onde as teclas 3, 7, 9 e 0 estão claramente mais gastas que as restantes. Se o código for de 4 dígitos, significa que não existe repetição de números, o que torna a adivinhação facilitada, sendo que as soluções possíveis são $4!$ ou seja 24 opções que podem ser testadas continuamente se não existir um sistema de segurança que limite o número de tentativas falhadas num curto espaço de tempo.



Figura 2.16: *Keypad* com teclas desgastadas [37]

Existem várias soluções para evitar que este problema aconteça [37]:

- Fazer a Manutenção periódica do *keypad*, fazendo a limpeza ou troca de teclados para que a solução não se sobressaia;
- Utilizar vários códigos de acesso, embora existam mais soluções para a adivinhação, isto obriga a que se desgastem mais teclas, fazendo o exemplo da imagem acima não acontecer tão evidentemente;
- Mudança periódica do código de acesso, isto evita que as teclas utilizadas sejam as mesmas ao longo do tempo, evitando o desgaste do código correto;
- Utilizar um acesso de 2 etapas, semelhante ao acesso por *password*, utilizando outra tecnologia de controlo de acesso, por exemplo a identificação por radiofrequência (RFID - Radio-Frequency Identification), faz com que o acesso só seja garantido se ambas as etapas forem concluídas com sucesso;
- Utilizar um *keypad* com teclas aleatórias como o da Figura 2.17, estes dispositivos cada vez que são acedidos mostram uma disposição de números aleatória, fazendo com que as mesmas teclas não sejam constantemente utilizadas;

Em conclusão, estes métodos de controlo de acesso como foi referido, são de fácil instalação mas isoladamente não fornecem uma segurança elevada, pois é fácil existir fugas e partilha das informações de acesso. Estes sistemas devem ser instalados em casos onde a necessidade de segurança não seja muito elevada ou complementados por outra tecnologia de controlo de acesso, formando um sistema de duas etapas, que diminui a probabilidade de invasão do sistema.



Figura 2.17: Keypad com teclas aleatórias [38]

2.3.2.2 Identificação por radiofrequência - RFID

Esta tecnologia de controlo de acesso transmite informação através de sinais de rádio [39]. Cumpre a tarefa de autenticação enviando uma *tag* única para identificar o seu utilizador. É uma tecnologia *wireless* que para diferentes distâncias de utilização utiliza frequências diferentes, cada sistema é instalado com as faixas de frequência mais indicadas para o objetivo final.

O sistema tem de possuir um leitor RFID, exemplo na Figura 2.18, que ao fazer a leitura da *tag* e garantir que o seu proprietário tem autorização para aceder ao equipamento ou informação, fornece o acesso desejado ao utilizador. A tecnologia de RFID tem várias utilizações possíveis, a gestão de inventários é um exemplo disso mesmo.



Figura 2.18: Leitor e tag RFID [40]

A identificação por radiofrequência foi patenteada em 1973 por Mario Cardullo [41] e foi utilizada como controlo de acessos noutra patente do mesmo ano por Charles Walton, que utilizou a tecnologia para destrancar uma porta. Estas patentes foram mais tarde licenciadas a empresas que fabricavam fechaduras. A partir dessa época a tecnologia RFID tem vindo a ser cada vez

mais utilizada em sistemas de informação e segurança para prevenir a invasão a equipamentos e informação [42].

Como foi referido, esta tecnologia tem várias faixas de frequência funcionais, Baixa Frequência ou *Low Frequency* (LF), Alta Frequência ou *High Frequency* (HF) e Frequência Ultra Alta *Ultra High Frequency* cada uma delas tem certas aplicações que são mais apropriadas ao objetivo a realizar:

- Baixa frequência (30 aos 300 KHz) - são sistemas de curto alcance (aprox. 10 cm) normalmente aplicado a controlo de acessos, como têm um baixo custo são amplamente utilizadas quando existe um grande número de utilizadores [43];
- Alta frequência (3 a 30 MHz, normalmente 13.56 MHz) - têm um maior alcance (aprox. de 10 cm a 1m) e são aplicados em alguns controlos de inventário e na tecnologia *Near-Field Communication* (NFC) disponível em grande parte dos *smartphones*, e portanto utilizados em pagamento eletrónico e bilheteiras;
- Frequência Ultra Alta (860 aos 960 MHz) - destinados a sistemas onde a leitura atinja de 30 a 100 metros, ideal para gestão de inventário de grandes complexos ou gestão de população [44];

Dentro das possibilidades de opções para esta tecnologia também existe a opção e existirem *tags* passivas ou ativas. A opção passiva não implica uma bateria interna na *tag* portanto utiliza as ondas de radiofrequência do leitor para alimentar o seu circuito e enviar a informação de resposta, por outro lado as *tags* ativas têm a bateria interna individual, conseguindo enviar a resposta com mais alcance sendo por isso mais utilizadas para a frequência ultra alta. Como estas têm um valor de produção mais caro as restantes faixas de frequência normalmente não utilizam as *tags* ativas por não compensar a diferença no preço de fabrico.

Existem algumas inovações futuras nesta tecnologia que vão ser referidas posteriormente neste relatório que podem elevar bastante o grau de segurança dos sistemas com RFID mas são de alguma forma controversos.

Esta tecnologia tem a vantagem de ser necessário um objeto com uma *tags* para efetuar o acesso, e portanto a adivinhação de informação de acesso deixa de ser possível, mas está vulnerável a roubos ou duplicação de *tags*, e portanto a instalação de um sistema complementar poderá ser necessário quando a prioridade de segurança é mais elevada que uma instalação isolada.

2.3.2.3 Biométricos

Nos sistemas de controlo de acesso mencionados anteriormente a segurança destes pode ser ultrapassada pela partilha de informação de acesso ou *tags*, que permitem a autenticação do utilizador mas não a sua identificação, com os sistemas biométricos a invasão do sistema torna-se uma tarefa mais complicada.

A tecnologia de controlo de acessos biométricos diz respeito à identificação de indivíduos através de tratos físicos ou comportamentais, a diferença entre estes é que os tratos físicos dizem respeito à aparência do indivíduo e a identificação por comportamento regula a forma como certas tarefas são executadas para avaliar a sua identificação, os diferentes tipos de sistemas de identificação biométricos estão esquematizados na Figura 2.19.

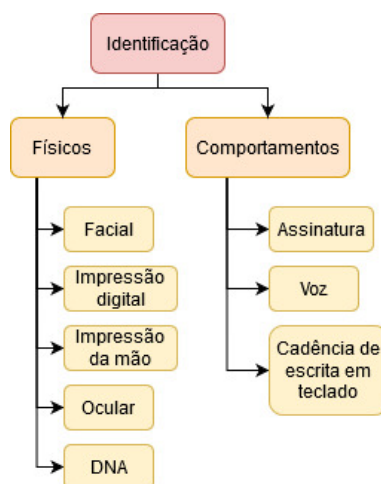


Figura 2.19: Diferentes sistemas de identificação biométrica

Todos os sistemas de controlo biométrico têm a mesma base de funcionamento, uma base de dados de amostras dos utilizadores que são introduzidas quando é feito o primeiro registo do utilizador, sensores apropriados para o sistema em questão e um dispositivo com capacidades de comparação entre os *inputs* do utilizador e os dados guardados na base de dados dando a resposta positiva ou negativa na identificação e autenticação da pessoa que pretende aceder ao sistema [45].

A Figura 2.20 mostra exemplos de leitores de controlo biométrico, como a 2.20 a) de um leitor de impressão digital, a 2.20 b) de um leitor de impressão da palma da mão e 2.20 c) que mostra um leitor de reconhecimento facial. Todos eles fazem a digitalização ou tiram fotografias à característica desejada e comparam com as que foram fornecidas no ato do registo, se as comparações

forem satisfatórias, o utilizador tem privilégios de acesso ao sistema. Estes sistemas já são amplamente utilizados mesmo em dispositivos pequenos como os *smartphones*, sendo que os de última geração no ano de 2020 têm o reconhecimento facial e sensores de impressão digital implementados.



Figura 2.20: a) Leitor de impressão digital - b) Leitor de impressão da mão e c) Leitor de reconhecimento facial [46][47][48]

Para efetuar a identificação com sensores oculares existem 2 tipos distintos, o reconhecimento de íris e o de retina. O exemplo da Figura 2.21 a) é o menos seguro dos dois mas menos intrusivo, visto que utiliza um sistema de reconhecimento que tira fotografias ou grava vídeos da íris do utilizador (localizada na frente do globo ocular e que dá a cor dos olhos) e efetua a comparação com o banco de dados. No caso da Figura 2.21 b), na leitura da retina, que está localizada na parte de trás do globo ocular, uma luz infravermelha subtil é utilizada para penetrar o olho e identificar os vasos sanguíneos da retina, que depois compara com os dados do sistema. A identificação da retina é mais segura visto que fotografias do olho não conseguem ultrapassar o sistema mas é intrusivo, sendo utilizado apenas em aplicações de alta segurança como equipamentos ou recintos militares ou governamentais [49].

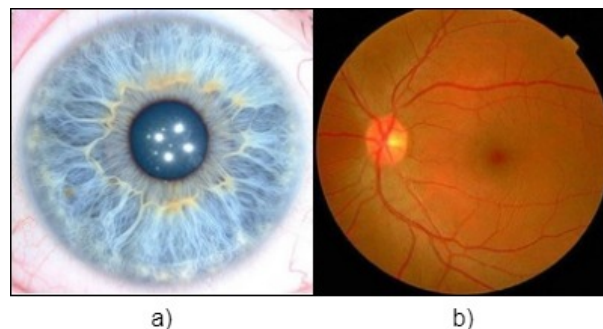


Figura 2.21: a) Identificação da íris - b) Identificação da retina [49]

A identificação por DNA (o material genético encontrado em todos os organismos e que contém a informação de como formar e manter o corpo do seu proprietário [50]) também é bastante segura em termos de identificação, sendo que a amostra é retirada do utilizador de variadas formas e enviada para

laboratório para ser analisada e comparada com o banco de amostras autorizadas. O processo de análise e comparação do DNA é feito pelo ramo de biologia genética e não se considera relevante para este projeto, mas estará disponível uma explicação pelo professor Masaki Hashiyada da universidade Tohoku no Japão para mais informações [51].

Os grandes contras desta tecnologia são o tempo e o custo que o processamento da autenticação têm sobre as restantes tecnologias de controlo de acesso, para além de existir um problema em identificar gémeos idênticos e algumas questões éticas de privacidade [51].

Por último existem os métodos de autenticação comportamentais, que analisam e comparam certos padrões na forma como os utilizadores executam as tarefas de identificação, no caso do reconhecimento por voz é feita a análise das formas de onda do utilizador, podendo ser dependente de certas frases específicas (ter uma frase fixa para identificação ou não), este tipo de reconhecimento já é utilizado em sistemas de assistente virtual como a Siri nos iPhones, que são configurados para só responder à voz do proprietário. Este tipo de sistema tem várias falhas de funcionamento porque pode ser bastante dependente de ruído de fundo ou do temperamento do utilizador, podendo criar falsos negativos na autenticação.

Um sistema de identificação por assinatura tem guardados vários exemplos da forma como uma assinatura é desenhada, sendo que cada pessoa tem uma assinatura pessoal e a forma como ela é desenhada será única e de difícil replicação. A análise é feita a várias características da escrita, como o tempo de escrita, a forma como a mão pressiona na superfície e mesmo o alinhamento e angulo das letras na assinatura. É de referir que o sistema pode estar configurado para aceitar escritas que não sejam assinaturas, mas estas são as mais utilizadas nas aplicações existentes. Porém se o utilizador não assinar frequentemente na sua vida pode ter dificuldades a ser autenticado num destes sistemas porque o comportamento ainda não está enraizado.

Os sistemas de cadência de escrita em teclados são mais utilizados para controlo de acesso de informação e dizem respeito à autenticação por ritmos da utilização dos instrumentos de *input* de computadores, visto que já existem alguns sistemas que também analisam o comportamento do cursor nos ambientes digitais. É um sistema que não requer *hardware* de análise sendo feito inteiramente por *software*. O desejado é que seja rápido a fazer a autenticação do utilizador para que um intruso não consiga invadir o sistema e ver informações confidenciais antes do alarme ser ativado. Da mesma forma que nos sistemas de assinatura, se o comportamento da escrita ainda não estiver claramente definido o sistema pode ter falsos negativos e o aparecimento de lesões nas mãos dos utilizadores que prejudiquem a escrita

poderão ser causa de alarme no sistema, assim como no caso anterior [45].

2.3.3 Gestão e Monitorização

A gestão de monitorização de sistemas de controlo de acesso é uma área que, na maior parte dos sistemas atuais, requer a utilização de bases de dados associadas. As bases de dados são conjuntos de informações organizadas que podem ser fáceis de aceder, atualizar e gerir. São normalmente acedidas por um software especializado, adquirido juntamente com o sistema de controlo de acessos. Pode conter todo o tipo de informação que o proprietário pretenda, como as autorizações de todos os utilizadores e histórico de acessos ao sistema.

A monitorização desses acessos é feita com a ajuda dessas bases de dados, que como foi referido podem guardar informações cronológicas de acessos ao sistema e ocasiões de anormalidades para que os proprietários possam verificar as falhas dos seus sistemas e tomar precauções para que não voltem a acontecer.

Embora existam casos em que não é necessário como um sistema de *keypad* que não requer identificação do utilizador. Também existe a possibilidade de obter a gestão por escrito como são feitas os registos de presenças de uma faculdade ou um acesso a um armário de medicamentos de um hospital.

Nos sistemas que não necessitem de bases de dados pode ser usado um circuito de video-vigilância como sistema de monitorização para compensar, é de referir que mesmo os sistemas de controlo de acessos com bases de dados normalmente estão complementados por estes equipamentos de video. [52].

2.3.4 Futuros desenvolvimentos

Embora a tecnologia de controlo de acessos esteja em constante evolução nos últimos anos, nada indica que esta abrande num futuro próximo. Algumas destas evoluções já estão a ser implementadas, outras estão a ser fortemente apoiadas para implementação e outras podem ser, de certa forma, eticamente comprometidas.

A utilização de *smartphones* para controlo de acessos é a evolução vista como a realidade mais provável, visto que alguns produtos de última geração já possuem tecnologia NFC. Isto permite que se elimine a utilização de vários cartões, utilizando o *smartphone* junto de outra etapa de autenticação, facilitando a utilização de controlo de acessos aos utilizadores.

A evolução que desafia os limites da ética são os implantes de *microchips* nas mãos dos utilizadores, o tamanho do *chip* e a sua localização pode ser verificada na Figura 2.22. esta tecnologia está a ser implementada com maior adesão na Suécia, onde mais de 4.000 pessoas já efetuaram o implante da tecnologia no próprio corpo[53]. Na Figura 2.22 a) é possível afirmar que o

implante é relativamente pequeno em comparação a um dedo humano, na Figura 2.22 b) e c) verificasse a localização do implante na mão humana, tanto em luz visível como a raio-x.

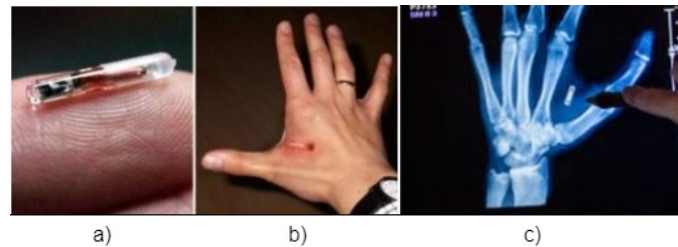


Figura 2.22: a) Tamanho do implante - b) localização do implante - c) Raio-x de mão com implante[53]

A disputa ética que se coloca é a da introdução de tecnologia de identificação dentro do corpo humano, e que poderá não existir controlo suficiente por parte do utilizador para utilizar esta tecnologia, i.e. um *smartphone* pode ser desligado e pode-se gerir que aplicações estão instaladas, mas com estes implantes, a privacidade e segurança dos dados pessoais não estão no controlo dos utilizadores mas sim das entidades que possuem os leitores [54]. Acrescentando, com o evoluir posterior da tecnologia existe o medo que a monitorização de todos os movimentos dos utilizadores venha a ser uma realidade, reduzindo ainda mais a privacidade da população.

Capítulo 3

Projeto inicial

O objetivo central deste projeto é a distribuição de quantidade certas de medicamentos específicos para o utente que o utilizar, fazendo uma gestão do inventário disponível e partilhar dados relevantes com os responsáveis pelo sistema, em formato de avisos ou de informação complementar. Para que isto aconteça deve existir no dispensador a monitorização de acessos e identificação dos utilizadores, deve também garantir que os responsáveis consigam aceder ao depósito de medicamentos restringindo qualquer outro utilizador.

Por outro lado, tem de existir a capacidade de guardar grandes quantidades de informação sobre todos os utilizadores, utentes ou responsáveis, assim como um sistema de histórico de movimentos dos medicamentos.

Como métodos de controlo de acessos, este projeto será equipado com um sistema de leitura RFID de baixa frequência, para acesso ao inventário (só os responsáveis terão um cartão de acesso pessoal) assim como uma segunda verificação de identidade através do leitor de impressão digital, este será utilizado também pela utilização do dispensador. Estas escolhas estarão justificadas posteriormente neste relatório, nos respetivos capítulos.

Quando for feito um pedido de acesso ao depósito do dispensador este só deverá ser garantido depois de uma leitura a uma *tag* permitida e respetiva impressão digital, e quando for feito um pedido para dispensa de medicação, o sistema deve identificar o utilizador e dispensar apenas os medicamentos corretos para o indivíduo e para o período de tempo em que o pedido é efetuado.

3.1 Arquitetura

O protótipo é constituído por variados componentes que permitiram atingir os objetivos traçados previamente, para tal é necessário existir leituras de controlo de acessos, a utilização de atuadores que façam a dispensa dos medicamentos e comunicação entre o microcontrolador e as bases de dados.

Para que isto aconteça o sistema é constituído por um microcontrolador responsável pelo controlo de acessos, os leitores referidos anteriormente e também será responsável pelos atuadores que o sistema necessitar, como a atuação nos dispensadores ou no sistema de abertura dos depósitos de medicamentos.

Nas seguintes secções será feita uma explicação de *hardware* e *software* que vão ser utilizados no desenvolver deste projeto, aprofundando especificações dos componentes e como estes ajudarão a atingir o objetivo proposto. No final do projeto é esperado que a arquitetura do sistema tenha o aspeto da Figura 3.1.

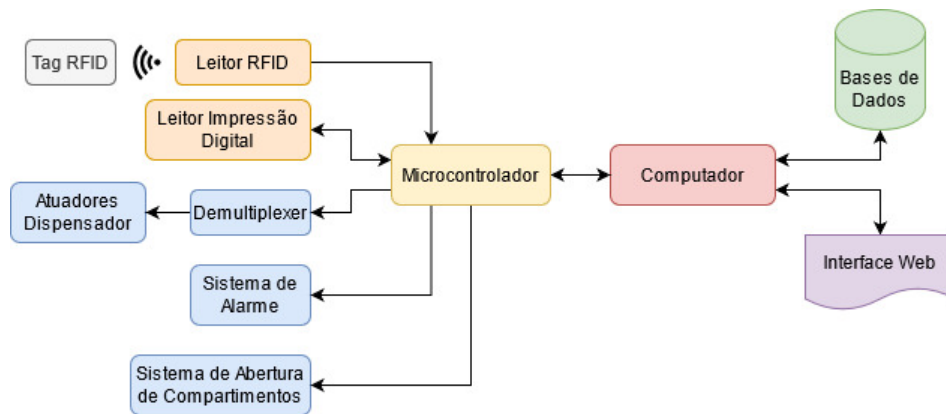


Figura 3.1: Arquitetura do sistema

3.2 Hardware

Nesta secção irão ser apresentados os componentes que foram escolhidos para a realização deste projeto, justificando a escolha dos mesmos, aprofundando algumas das suas especificações e funcionamentos. Será também demonstrado algumas secções da montagem do circuito final.

3.2.1 Microcontrolador

A plataforma Arduino foi escolhida para este projeto pela robustez do hardware, onde todos os componentes de base já estão montados de origem evitando o risco inerente à utilização de várias *breadboards* para montar os circuitos que são necessários para igualar as capacidades desta plataforma. O

baixo custo do mesmo também foi um fator decisivo para a utilização desta plataforma.

O microcontrolador escolhido foi o AtMega2560, montado na placa de desenvolvimento da Figura 3.2 a), devido ao seu grande número disponível de pinos *in/out*, o que permite utilizar um maior número de periféricos no mesmo microcontrolador, garantindo que a conexão com os controlos de acesso e todos os atuadores escolhidos. Apesar da Arduino disponibilizar uma linguagem e programa próprio para as placas, este projeto será desenvolvido no programa ATMEL Studios 7.0 utilizando linguagem C, como foi ensinado no programa curricular de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do ISEP.

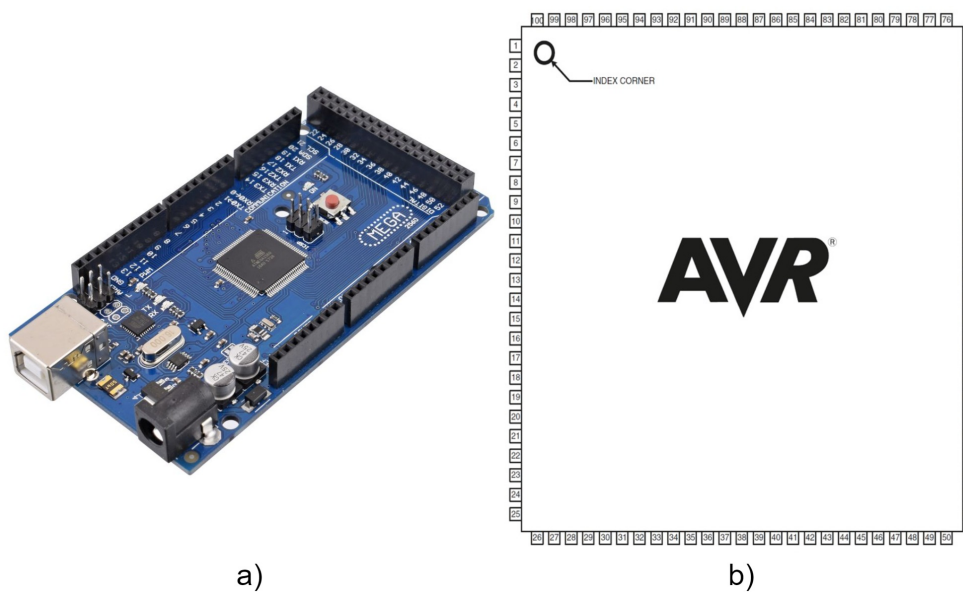


Figura 3.2: a) Arduino Mega 2560 [55] - b) Pinos AtMega2560 [56]

O microcontrolador AtMega2560 é baseado numa arquitetura *AVR enhancedRISC* com um total de 100 pinos disponíveis, como se pode ver na Figura 3.2 b), dos quais 4 são de alimentação *VCC*, 5 de *ground* (*GND*), 2 são relacionados com a alimentação do conversor analógico/digital. Existem 86 pinos de Entrada/Saída, 70 deles são programáveis, entre os quais 16 têm capacidade de gerar sinais *PWM*, 8 tem propriedades de interrupções que podem ser utilizadas, e 16 têm capacidade de conversão analógica de 10 bits. Entre os 3 pinos restantes, 2 são relacionados ao funcionamento do oscilador do microcontrolador e outro é 1 pino de *Reset*.

Este microcontrolador tem disponível para programação 256 Kbytes, 8 Kbytes de *Static Random Access Memory* (*SRAM*) e 4 Kbytes de *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (*EEPROM*).

Dispõe também de funcionalidades como, 2 relógios de 8 bits com modo de comparação e *prescaler* separado, 2 relógios de 16 bits com as características anteriores mais um modo de captura. Dos pinos com capacidade para gerar sinais com PWM, 4 deles são de 8 bits, os restantes podem ter uma resolução de 2 a 16 bits. Dispõe também de interface Master/Slave de SPI.

Pode ser alimentado com tensões entre 1,8 V a 5,5 V e tem seis modos de funcionamento que têm menores consumos elétricos, como por exemplo o modo Power-Down que apenas consome 0.1 μ A com 1.8 V ao invés do modo ativo que com a mesma tensão consome 0.5 mA [57].

3.2.2 Leitor de impressão digital

Um dos métodos de controlo de acessos escolhidos para o desenvolvimento deste projeto é o controlo biométrico através de impressão digital. Para tal foi escolhido o sensor FPM10A/DY50, com o aspeto da Figura 3.3, por ser um módulo de baixo custo e que possui as capacidades suficientes para ser utilizado neste projeto.



Figura 3.3: Leitor de impressões digitais FPM10A/DY50 [58]

Este módulo possui a capacidade de tirar fotografias às impressões digitais e fazer comparações entre impressões. Para conseguir efetuar a sua tarefa, o módulo vem embutido com um processamento de imagem que distingue diferentes características das impressões digitais (de seguida é dada uma explicação destas características), deste modo não guarda as fotos mas sim os modelos criados a partir dessas características.

Para se poder fazer a comparação entre impressões digitais tem de se proceder à gravação das impressões para comparar, isto é efetuado utilizando duas fotografias do mesmo dedo colocado na frente do módulo. A primeira fotografia é processada num modelo e a segunda, depois de processada, serve como comparação para que não existam características que estejam mal identificadas. Se não existir disparidade entre os modelos, este é guardado

num índice previamente definido. Este módulo tem a capacidade para guardar 126 modelos de impressões digitais diferentes em memória Flash.

Quando se compara uma impressão digital o processo é o mesmo, quando a fotografia é processada em modelo de características, este é comparado com os guardados em memória e retorna o número de índice do modelo a que se iguala. Se não existir modelos iguais, o processamento e comparação de imagens vêm equipados com variadas mensagens de retorno, não só de erro de comparação como também outros erros relacionados com as fotografias tiradas às impressões digitais [59].

As características utilizadas para efetuar os modelos são pequenos aspetos presentes nas impressões digitais que as diferenciam das restantes. As impressões digitais são compostas por pequenos montes e vales situados nos dedos, que geralmente não são uniformes entre si, isto é, existem diferentes tipos de bifurcações e términos que compõem essas características. Não só no conjunto de linhas que normalmente estão no centro da impressão digital, facilmente identificados, mas também noutras características mais subtis. A Figura 3.4 a) identificada uma bifurcação de vale (a branco), onde um vale se separa em dois e na Figura 3.4 b) o mesmo se verifica mas com um monte (a preto)[60].

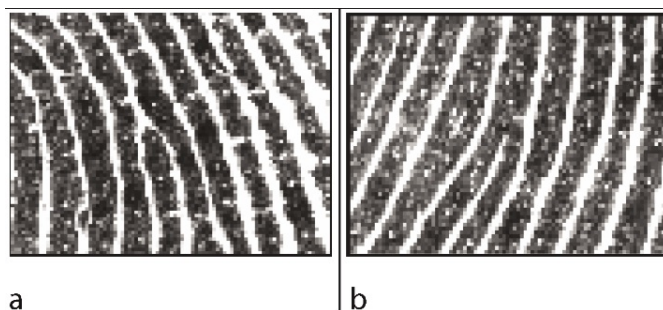


Figura 3.4: a) Bifurcação de vale - b) Bifurcação de monte [60]

O módulo escolhido vai utilizar comunicação Serial do tipo *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART), existe a possibilidade de efetuar o carregamento de modelos através do computador, o que não será utilizado neste projeto, esta função permite a um sistema guardar bastante mais que os 126 modelos de características originais, sendo que a comparação seria feita em blocos de modelos diferentes até encontrar, ou não, uma impressão digital idêntica. Porém esta funcionalidade não será utilizada no desenvolvimento deste projeto.

3.2.2.1 Esquema de montagem

De seguida na Figura 3.5 serão descritos os pinos de conexão deste módulo, as funções de cada um para o funcionamento do mesmo e o esquema de montagem ao AtMega2560 que foi utilizado.

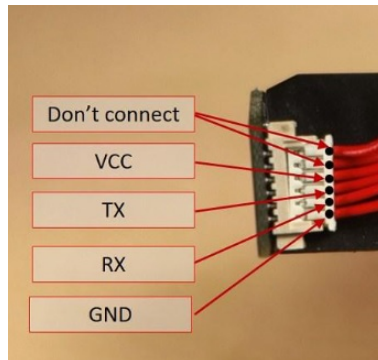


Figura 3.5: Esquema de pinos do leitor de impressão digital [61]

- VCC - Alimentação do módulo. Entre 3,3 V e 5 V;
- TX - Pino de transmissão de comunicação Serial para o microcontrolador;
- RX - Pino de receção de comunicação Serial do microcontrolador;
- GND - Terra deverá ser conectado ao GND do AtMega2560;
- NC (2 pinos) - Estes pinos não tem qualquer ligação ao circuito integrado no módulo, logo não têm de ser conectados, porém irão ser ligados ao GND [61];

Na ligação ao microcontrolador o pino de alimentação do módulo será conectado ao pino de 5V disponibilizado pela plataforma Arduino, os pinos destinados ao GND serão ligados ao GND do microcontrolador. Os pinos de Tx e Rx serão ligados aos pinos numerados 11 e 10 respetivamente. O Tx deste módulo tem de estar conectado a um pino que suporte interrupções de mudança de estado, função da qual a comunicação Serial depende para funcionar. O pino 11 têm essa funcionalidade, o pino de Rx pode estar ligado a qualquer pino I/O digital do microcontrolador, portanto foi escolhido o pino adjacente [62].

Existem no mercado outros modelos de leitores de impressão digital, alguns com mais capacidade de memória, outros com um reconhecimento de impressões digitais mais refinado e eficaz, mas para o desenvolvimento deste projeto o módulo apresentado tem características mais que suficientes para finalizar o protótipo com sucesso.

3.2.3 Leitor RFID

A tarefa de leitura das *tags* RFID será assegurada pelo leitor RC522, este sensor têm todos os componentes necessários para proceder à leitura de *tags* passivas sem contacto.

O sensor utiliza para comunicação com o microcontrolador os métodos Serial Peripheral Interface (SPI) e UART. O que será escolhido para este projeto será o SPI visto que temos disponíveis no microcontrolador escolhido os pinos necessários para esta comunicação, sendo o leitor definido como *slave* na comunicação.

3.2.3.1 Esquema de montagem

Depois da demonstração física do leitor da Figura 3.6 serão explicadas as funções de cada um dos pinos e onde eles estarão ligados ao microcontrolador.

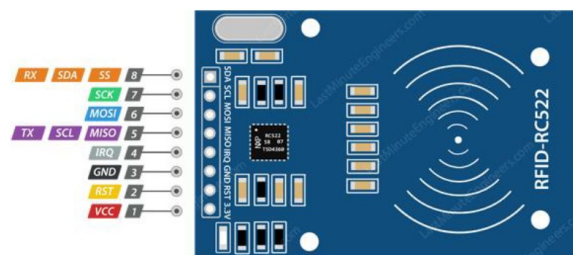


Figura 3.6: Esquema de pinos do leitor de RFID [63]

O módulo de leitura de *tags* RFID tem disponíveis 8 pinos para funcionar num circuito:

- SS/SDA/RX - pino utilizado para comunicações com o microcontrolador, recetor na comunicação UART, transmissor na comunicação I2C e pino de entrada na comunicação SPI, estará conectado ao pino SS do AtMega2560;
- SCK - pino de *clock* do módulo, estará ligado ao pino SCK do microcontrolador, que irá definir o relógio das comunicações;
- MOSI - sigla para *Master Out Slave In*, é o pino que irá estar conectado ao pino com a mesma identificação no microcontrolador;
- MISO/SCL/TX - este pino pode ser usado em 3 tipos de comunicação, para comunicação UART (Tx), na comunicação I2C (SCL) e na comunicação SPI (*Master In Slave Out*, o que será utilizado, e estará conectado ao MISO do AtMega2560;

- IRQ - interrupção que avisa o microcontrolador que têm uma *tag* para ler, não será utilizado neste protótipo;
- GND - *Ground*, será conectado ao GND do microcontrolador;
- RST - pino de reset, a ser controlado pelo microcontrolador, estará conectado ao pino I/O digital número 9;
- VCC - alimentação do leitor, no máximo de 3,3 V, será ligado ao pino fornecido pela plataforma Arduino com essa tensão [63];

O aspecto final da montagem deste módulo ao microcontrolador deverá ter o aspecto da Figura 3.7.

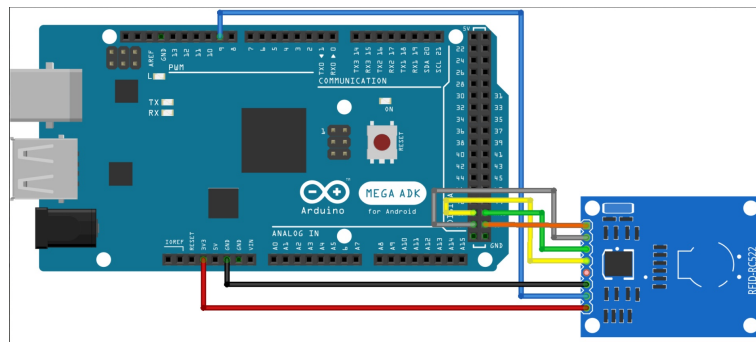


Figura 3.7: Esquema de montagem ao microcontrolador [64]

Para a realização deste projeto este tipo de leitura seria o mais apropriado, não devendo utilizar leitores de UHF. Isto é devido ao aumento de raio de leitura substancial, podendo ler *tags* não desejadas, assim todas as leituras têm de ser feitas de maneira intencionada. Existem opções de mercado mais caras, mas como o RC522 tem as capacidades desejadas para este projeto, não se justificando o aumento de preço do mesmo.

3.2.4 Motores de passo-a-passo - *Stepper*

Para assegurar a entrega dos comprimidos será criada uma estrutura que armazena os comprimidos e, quando necessário atua no mecanismo para dispensar os medicamentos. Com esta finalidade a melhor hipótese para controlar o número de medicamentos à saída seria utilizar sensores que detetem a saída de medicamentos ou criar um tipo de armazenamento que guarde um comprimido por divisão, fazendo girar esse armazenamento, dá a saída de um medicamento. Controlando um motor de *stepper*, poderá ser possível controlar a saída dos medicamentos sem haver necessidade de detetar a saída dos mesmo.

Por conseguinte foram escolhidos motores *stepper* juntamente com os controladores dos mesmos para construir este protótipo, os motores escolhidos foram 28BYJ-48 e os controladores ULN2003 expostos na Figura 3.8).



Figura 3.8: Motor *stepper* e controlador [65]

O princípio de funcionamento de um motor *stepper* é que transforma impulsos elétricos em rotação de um motor, para isso, os motores são compostos de um ímã permanente central (rotor) e um conjunto de 4 ou mais bobinas no estator, expresso na Figura 3.9. O envio de impulsos elétricos para essas bobinas na sequência certa faz o rotor avançar por passos (*steps*) precisos. Cada motor tem as suas características de rotação, o motor que vai ser utilizado tem de efetuar 2048 *steps* para efetuar 360 graus de movimento. Este número de *steps* permite que o motor tenha aproximadamente 0,18 graus de precisão em cada passo, podendo ser ainda mais preciso se for utilizado o método de *halfstep*, que permite duplicar o número de passos por volta aumentando a precisão dos *steps*, mas esta funcionalidade não será utilizada [66].

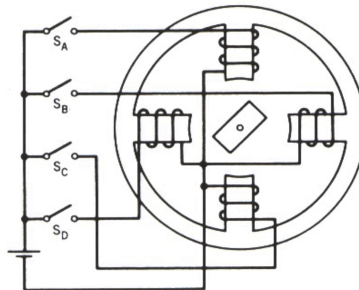


Figura 3.9: Esquema interno do motor *stepper* [67]

O controlador utilizado foi adquirido juntamente com o motor, e será o *driver* ULN2003 integrado numa placa já desenvolvida para funcionamento com este motor *stepper*. O circuito integrado é composto por um conjunto de 7 transistores Darlington, que são pares de transistores em que o segundo de cada par amplifica a corrente no *output* do primeiro transistor, isto é necessário porque o motor tem um alto consumo em termos de amperagem. No entanto

não é recomendado alimentar o motor com a tensão de 5 V proveniente da plataforma Arduino, devido ao seu relativo alto consumo de potência. Por essa razão neste projeto a alimentação para os motores necessários será proveniente de uma fonte externa.

Cada entrada deste controlador faz ativar a alimentação de uma das bobinas no motor, portanto ao alimentar as bobinas numa sequência contínua o motor irá fazer um movimento angular correspondente ao número de *steps* efetuados multiplicado pela sua precisão [68].

Neste projeto serão utilizados 6 conjuntos iguais aos apresentados aqui, devido à escolha arbitrária de ter 6 tipos diferentes de comprimidos neste protótipo, isto é, cada motor vai ser encarregue de fornecer um tipo de comprimido ao utilizador.

Estes conjuntos foram escolhidos devido ao seu baixo preço, visto que teriam de ser comprados 6 conjuntos não se justificava o gasto de grande quantidade de dinheiro, portanto cada conjunto foi adquirido a menos de €4 cada, totalizando um valor inferior a €24 para os 6 necessários, sendo que alguns motores *stepper* no mercado, individualmente, podem custar mais que o conjunto.

3.2.5 Seletor de motor *step*

Este projeto terá, como foi referido, seis atuadores diferentes para efetuar a dispensa dos medicamentos. Existem várias opções para configurar as ligações dos motores e controladores ao AtMega2560. Sendo que cada controlador necessita de no mínimo 4 ligações para fazer os motores rodarem corretamente, fazendo um total de 24 ligações diferentes, sendo que todos os motores estão constantemente a ser alimentados.

Para evitar utilizar um elevado número de ligações poderiam ser ligadas as 4 entradas de todos dos controladores em apenas 4 pinos do controlador respetivamente, deste modo utilizando poucos *outputs* do microcontrolador é possível controlar todos os motores ao mesmo tempo. Porém se a alimentação dos controladores estiver sempre ativa, todos os motores vão andar o mesmo número de *steps*, o que prejudica quando é necessário na mesma dose diferentes tipos de comprimidos em quantidades diferentes.

Portanto para resolver este problema os motores serão ativados em sequência efetuando os *steps* corretos respetivamente, para atingir esta solução vai ser construída uma matriz de 6 transistores que serão ativados para deixar passar corrente para cada motor individualmente.

Com esta solução seria possível baixar o número de pinos utilizados no microcontrolador de 24 para 10. O que por si já seria uma redução considerável, mas foi optado tentar uma redução para apenas 8 pinos [69].

A fim de atingir esse objetivo foi decidido a utilização de um demultiplexador ou DEMUX, com o princípio que um número reduzido de pinos poderiam selecionar e controlar um número maior de dispositivos. Será utilizado o circuito integrado CD4051 que é um MUX/DEMUX, isto é, tanto pode controlar vários periféricos com poucas saídas do microcontrolador, ou efetuar a leitura de vários sensores utilizando poucas entradas.

Este circuito integrado dispõe de 16 pinos como está representado na Figura 3.10, sendo que 3 pinos são dedicados à alimentação do circuito, 3 pinos dedicados a selecionar qual o *output* que está a ser utilizado, 8 pinos de *Output*, 1 pino comum de I/O e um pino de inibição.

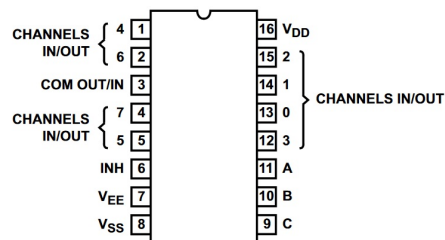


Figura 3.10: Esquema de pinos do MUX/DEMUX CD4051 [70]

O pino VDD e VEE são a entrada de alimentação positiva e negativa respetivamente, VSS é o pino de terra, INH é o pino de inibição, que quando ativado faz com que todos os canais de saída sejam inativos, independentemente da combinação dos pinos denominados A, B e C. Estes pinos seguem uma lógica de binário onde diferentes combinações ativam diferentes canais de saída conforme está demonstrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Lógica DEMUX CD4051 [70]

C	B	A	INH	Output Pino (CH)
0	0	0	0	CH. 0
0	0	1	0	CH. 1
0	1	0	0	CH. 2
0	1	1	0	CH. 3
1	0	0	0	CH. 4
1	0	1	0	CH. 5
1	1	0	0	CH. 6
1	1	1	0	CH. 7
X	X	X	1	Nenhum

Este conjunto de componentes permite que o número de pinos necessários do microcontrolador seja reduzido de 24 para 8, sendo ainda possível aumentar para 8 motores sem adição de pinos. Este tipo de conjunto é boa prática quando

é pretendido utilizar ainda mais *outputs*, por exemplo, com um DEMUX de 16 canais, só seria necessário utilizar mais um pino do microcontrolador para controlar mais 8 motores, devido à lógica binária das combinações.

3.2.6 Componentes complementares

Existem 2 sistemas complementares pensados para este projeto, o sistema de abertura dos compartimentos e o sistema de alarme para utentes sensorialmente debilitados.

O sistema de abertura dos compartimentos será ativado através da interfase web depois de confirmar um utilizador autenticado com autorização. Este sistema será controlado por um motor de corrente contínua ou com um motor *stepper* como o sistema de dispensa. A escolha do motor será feita por experimentação dando prioridade ao sistema com motor de corrente contínua por ser mais acessível em termos de preço. O ponto que irá fazer a diferença é em termos de torque dos motores disponíveis para levantar a cobertura dos compartimentos.

O sistema de alarme será simples, irá conter um *buzzer* e um conjunto de *leds*. As frequências do alarme serão controladas através do microcontrolador embora também possam ser controlados através de circuitos elétricos. Estes alarmes iram ser acionados durante um período de tempo após a disponibilização de uma dispensa no sistema.

3.3 Software

Nesta secção segue-se a demonstração e explicação dos *softwares* e comunicações utilizados no desenvolvimento técnico deste protótipo.

3.3.1 Comunicação entre microcontrolador e leitores de controlo de acesso

Aqui serão explicadas como os leitores efetuam a sua comunicação com o microcontrolador, nomeadamente como o leitor RFID se comunica por SPI e o leitor de impressões digitais se comunica por UART.

3.3.1.1 Comunicação SPI

O protótipo dispõe de dois leitores de controlo de acesso que necessitam de ter métodos de comunicação com o microcontrolador, o leitor de impressão digital utiliza UART e o leitor de *tags* RFID utiliza a comunicação SPI.

A comunicação SPI é uma comunicação com uma topologia Master-Slave síncrona que necessita de quatro pinos do AtMega2560 ou microcontrolador a

que se conecta, sendo este o Master desta conexão. Esses pinos são o SCK, MISO, MOSI e SS.

Sendo uma comunicação síncrona necessita de um relógio sincronizado entre o microcontrolador e o leitor, que será o Slave, o pino SCK permite ao Slave utilizar o relógio de comunicação do Master. o pino MISO serve para os leitores enviarem comunicações para o microcontrolador e o pino MOSI encarregasse do sentido contrário de comunicações. O pino SS é o de Slave Select e é o pino que seleciona qual dos Slaves está em comunicação com o microcontrolador, quando é necessário existir mais que um leitor no mesmo sistema, exemplo demonstrativo na Figura 3.11, que não será o caso neste projeto [71].

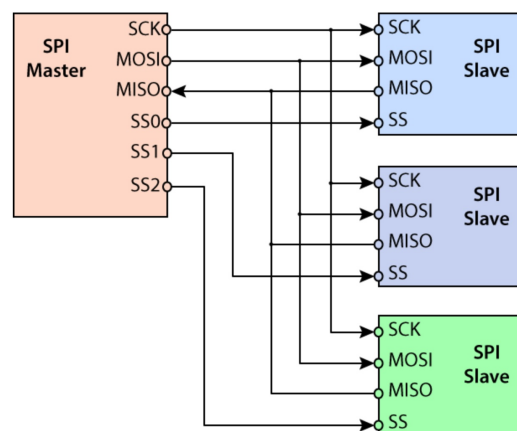


Figura 3.11: Estrutura de comunicação SPI com vários Slaves [71]

É possível verificar que todos os Slaves partilham os pinos de comunicação e relógio, mas o pino de SS é que define qual deles está em funcionamento.

3.3.1.2 Comunicação UART

As comunicações UART, ao contrário das SPI, não são síncronas, isto significa que não necessitam de sinal de relógio para sincronizar os dois extremos da comunicação. Esta comunicação necessita de 2 pinos definidos como Tx de transmissão e o Rx de recepção, que estarão conectados de forma inversa entre os dois intervenientes, isto é, o pino Tx tem de ser conectado ao pino Rx para que o transmissor do primeiro componente esteja conectado ao recetor do segundo.

A velocidade de comunicação tem de ser definida igualmente entre os participantes, sendo impossível comunicar entre extremos se as *Baud rates* forem diferentes. Como os dois comunicadores utilizam relógios diferentes se eles tiverem velocidades diferentes o recetor não conseguirá efetuar a leitura de

forma correta. Existe uma tolerância de diferença nas velocidades de cerca de 10%, valores com diferenças superiores já serão muito prováveis de efetuar leituras erradas.

A comunicação por UART utiliza *packs* de envio sempre com a mesma estrutura, um bit de começo, um bloco de informação/mensagem, pode ter 1 ou nenhum bit de paridade e 1 ou 2 bits de paragem, ilustrado na Figura 3.12.



Figura 3.12: Estrutura de mensagem de comunicação UART [72]

O *Start bit* serve para informar o recetor que está prestes a receber um pacote de informação do outro dispositivo. Normalmente o pino Rx está fixado no estado *high*, sendo que este bit chega com o estado contrário informando que os seguintes estados serão bits lidos à velocidade definida.

Na secção de *Data Frame* é onde a mensagem a transmitir é enviada, pode conter 5 a 9 bits de comprimento.

O *Parity Bit*, que pode ou não estar presente é a secção do pacote que ajuda ao recetor saber se a mensagem foi transmitida e recebida com sucesso ou não, é possível utilizar isto contando o número de bits correspondentes a 1 na parte da mensagem. Se o número for par, o bit de paridade deverá ser 0, se for impar deverá ser 1. Quando, por exemplo existem 3 bits correspondentes ao estado alto na mensagem e o bit de paridade for 1 é assumido que existiu um erro de transmissão ou recessão dessa mensagem.

Os *Stop Bits* permitem ao pacote informar o recetor que está a terminar, evitando que este continue a leitura de bits futuros, efetua isto transportando o sinal de estado baixo para alto, durante um ou dois bits de relógio.

A título de demonstração, a Figura 3.13 demonstra a sequencia de estados de uma mensagem na comunicação por UART. O bit de inicio é definido como 0, como foi referido. A mensagem a enviar é "01001101" tendo um comprimento de 8 bits. Como a mensagem tem 4 bits de estado *high*, o bit de paridade terá o valor de 0, estando por último o bit de paragem, que eleva o estado a alto para sinalizar que a mensagem acabou.

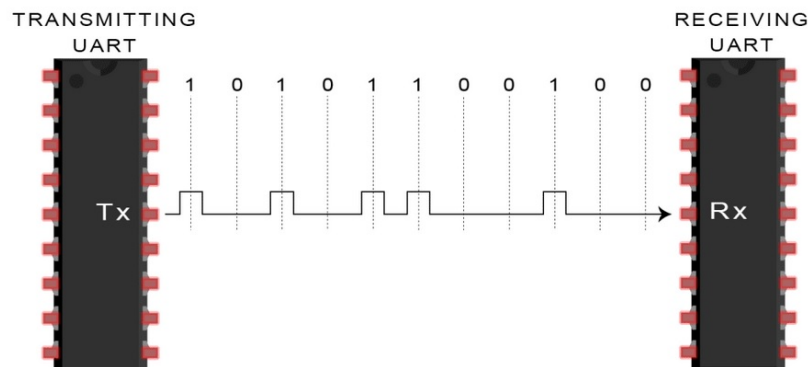


Figura 3.13: Exemplo de mensagem completa em comunicação UART com [73]

Em termos logísticos este tipo de comunicação é mais simplificado utilizando apenas duas ligações entre os intervenientes, ao contrário das 4 ligações necessárias para as comunicações SPI.

Como já foi referido o leitor RFID também poderia utilizar este tipo de comunicação, mas visto que não se iriam utilizar os pinos de comunicação SPI em mais nenhum componente, definiu-se que os tipos de comunicação dos leitores iriam ser diferentes.

A existência de bibliotecas previamente desenvolvidas por terceiros para capacitar o sistema a trabalhar com estes tipos de comunicações serão uma mais-valia para a evolução deste projeto.

3.3.2 Python / Django

Com a finalidade de efetuar o tratamento das bases de dados e as interações com o utilizador foi escolhido desenvolver este projeto utilizando linguagem Python com a *framework* Django. Estas funcionalidades são necessárias quando é preciso corresponder uma impressão digital a uma determinada dose de medicamentos, ou à retirada desses medicamentos das bases de dados, utilizando esta *framework* é permitido criar o entrosamento entre as leituras das portas Serial do computador, as bases de dados em MySQL e a interface *web* a que o utilizador/proprietário terá acesso.

A ferramenta escolhida vai permitir criar o *website* que vai interagir com todos os outros componentes deste projeto, nomeadamente o protótipo e o utilizador, utilizando as bases de dados MySQL que vão ser criadas. O utilizador poderá fazer a gestão dos comprimidos do protótipo, alterar doses e horas de medicação e visualizar variados dados de todos os utilizadores. Permitindo também efetuar acessos ao protótipo físico em si, como o pressionar de um botão na *webpage* faça abrir os compartimentos dos medicamentos.

A *framework* Django cria vários ficheiros de controlo quando um projeto é iniciado já com o "esqueleto" das configurações feitas, é tarefa do utilizador acrescentar todas as funcionalidades à sua página que permitirão a interação com outros programas ou bases de dados [74].

A criação das páginas *web* é feita através de *templates* [74] de páginas HTML e CSS, que são utilizadas para demonstrar as informações das bases de dados que são pedidas pelo utilizador, utilizando um mapeamento de *url's* que por sua vez são mapeados para funções diferentes que criam as páginas a mostrar. Fazendo o carregamento das páginas de forma dinâmica consoante as informações que estão guardadas nas bases de dados.

As funções criadas estão todas guardadas no seu próprio ficheiro, assim como qualquer grupo de código dedicado a um tipo de funcionalidade, permitindo que o utilizador mantenha uma espaço de desenvolvimento bastante organizado e simples de navegar.

Esta ferramenta permite também a criação de tabelas de bases de dados, que têm de ser iniciadas efetuando a migração das mesmas, estas tabelas são denominadas de "class". Quando estas tabelas são criadas terá de ser definido o tipo de informação que cada coluna irá guardar, sendo que qualquer alteração futura terá de ser seguida de uma nova migração para concluir essa mudança. Com as criações das tabelas efetuadas é permitido ao utilizador, sem utilizar SQL, interagir com a base de dados de uma forma intuitiva [75] [76] [77].

Para um melhor entendimento de como a *framework* conecta todos os ficheiros que são criados a Figura 3.14 exemplifica:

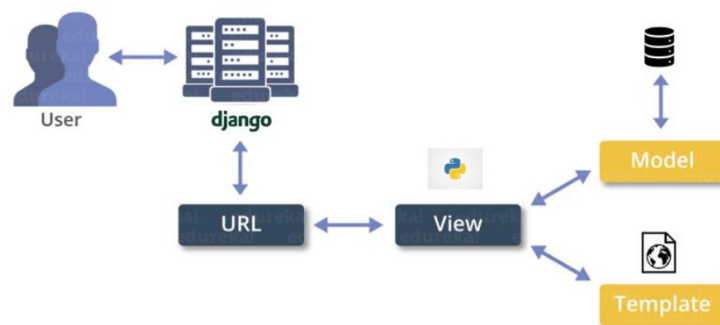


Figura 3.14: Estrutura dos ficheiros Django [78]

O utilizador interage com a página *web* que está criada no Django, por sua vez é redirecionado para um URL novo que tem associado uma ou mais funções, ou *views*, sendo que estas podem efetuar todo o tipo de cálculos ou alterações às bases de dados conforme o pedido do utilizador [79][80].

Essas *views* vão interagir com o ficheiro de *models* que é o responsável pelas tabelas das bases de dados e com o ficheiro de *templates* que irá organizar o código HTML, com ou sem integrações de código Python, para demonstrar a nova página ao utilizador com as alterações desejadas [81].

3.3.3 XAMPP e MySQL

O *software* XAMPP permite utilizar, num ambiente de desenvolvimento uma base de dados tipo MySQL, um servidor Apache, que serão utilizadas neste projeto, dentro de outras funcionalidades [82]. Este ambiente permite uma engrenagem estável com a *framework* Django durante o desenvolvimento deste protótipo. Este programa irá ser utilizado para a criação das tabelas na base de dados, que poderão guardar quantidades enormes de informação, como os medicamentos no dispositivo ou os utentes que são permitidos a o usar. A utilização do servidor Apache permitirá através de uma *webpage* baseada no phpMyAdmin [83], permitindo confirmar se a programação dos dispositivos está a interagir de forma correta com as bases de dados criadas, fazendo possível efetuar o *troubleshooting* em tempo real enquanto o protótipo é desenvolvido.

A escolha de MySQL foi baseada em primeiro lugar por ser uma das bases de dados mais utilizadas atualmente, devido à sua velocidade de funcionamento e facilidade de utilização. A sua grande integração com a *framework* Django também teve o seu peso na escolha da base de dados. Sendo um sistema *Open Source* é grátis para utilizar o que beneficia a sua escolha. Outros fatores como a segurança, a transmissibilidade entre sistemas operativos e a grande quantidade de ajuda na Internet para futuros problemas que possam aparecer são pontos fortes na inclinação para esta escolha.

3.3.4 Autodesk Fusion 360 e Ultimaker Cura

Como foi referido na introdução é um objetivo do projeto pensar e criar um mecanismo de dispensa para medicamentos, e para isso é necessário projetar partes para esse mecanismo, utilizando tecnologia de impressão 3D para tornar as partes em objetos tangíveis e que possam demonstrar a funcionalidade final do projeto.

Para o desenho das partes foi utilizado o programa Autodesk Fusion 360 [84], na edição de estudante, que permite efetuar a criação detalhada de partes para o mecanismo do protótipo, exportando os modelos criados para extensões STL. Este *software* é bastante parecido ao Autodesk Inventor que foi utilizado durante as aulas de Sistemas Flexíveis de Fabrico.

Por fim tem de se converter os modelos 3D de extensão STL para código G, onde foi utilizado o *software* de slice Ultimaker Cura [85], que permite efetuar a

divisão do modelo em camadas de impressão que irão ser imprimidas em sequência para criar o objeto desejado. Também permite orientar os modelos para serem imprimidos numa impressora 3D. Este programa permite configurar vários aspetos da impressão 3D como a velocidade e resolução das impressoras, como também cria os suportes necessários para uma impressão estável e robusta.

3.4 Vetores de teste

Nesta secção serão explicados os testes que ajudaram a avaliar o sucesso do desenvolvimento deste projeto.

3.4.1 A correta leitura dos sensores de controlo de acesso

Um objetivo essencial deste projeto é ser capaz de efetuar a leitura correta das *tags* RFID e das impressões digitais que serão usadas para aceder aos compartimentos ou aos medicamentos.

Para efetuar este teste, serão conectados ao microcontrolador já programado os dispositivos e efetuar leituras, verificando a sua eficácia, se esta for consideravelmente baixa terão de ser escolhidos diferentes métodos de controlo de acessos.

Os programa de teste estará escrito em Python e escutará a porta série do computador e vai imprimir os resultados na linha de comandos. No caso das *tags* estas são conhecidas previamente, no caso das impressões digitais estas terão de ser introduzidas no sistema e terá de ser atribuído um número *index* e posteriormente verificar se os dedos lidos correspondem aos que foram introduzidos.

3.4.2 Funcionamento dos leitores no mesmo microcontrolador

Quando os dois métodos de controlo de acessos estiverem escolhidos tem de ser verificado se ambos podem funcionar corretamente conectados ao mesmo microcontrolador, em principio será possível visto que utilizam comunicações diferentes, mas para prevenir futuros imprevistos achou-se bem efetuar este teste.

Portanto o teste será o mesmo que o anterior mas os dois sensores estarão conectados ao mesmo tempo para verificar se existe alguma interferência entre os mesmos. Se o teste não for um sucesso como o esperado terá de existir mais um microcontrolador para poder efetuar os diferentes tipos de leituras.

3.4.3 Comparação do controlo de acesso com a base de dados

O controlo de acessos funcionará em conjunto com as bases de dados para saber quem tem ou não permissão para efetuar determinadas ações com o protótipo.

As *tags* RFID servirão para que os proprietários sejam permitidos a aceder aos compartimentos dos medicamentos, quer para trocar, ou reabastecer. Isto será efetuado comparando a *tag* com as que estão gravadas nas bases de dados. Existirá confirmação do acesso com a abertura dos compartimentos e uma mensagem na linha de comandos.

O mesmo vai acontecer com as impressões digitais, mas estas servirão para receber os medicamentos da dose indicada, comparando com uma tabela que guarda as doses que estão pendentes para dispensa. A leitura das impressões digitais também vão servir para fazer uma confirmação a dois passos para a abertura dos compartimentos. Isto é, a *tag* e a impressão digital lidas terão de pertencer à mesma pessoa para esta ter acesso aos medicamentos.

3.4.4 Comunicação entre interface web e microcontrolador

Terá de ser verificado se alguma ação feita na página *web* poderá ter resultado direto no microcontrolador e nos seus atuadores. Para isto será pesquisado se é possível enviar comandos para o sistema diretamente da página *web* ou se será necessário criar alguma tabela que guarde esses comandos para serem lidos por outro *script* em Python que redirecione esses comandos para o sistema.

3.4.5 Verificação do funcionamento dos atuadores do sistema

Do lado do sistema encarregue da dispensa dos medicamentos é necessário conferir se a dispensa é feita nos tempos corretos e nas quantidades pedidas, para isto serão feitos vários pedidos diferentes ao sistema de forma repetida e será verificado qual é a percentagem de doses falhadas, sendo que se este valor for demasiado elevado terá de ser modificado o sistema mecânico de entrega, a programação do microcontrolador ou os comandos provenientes do *script* Python.

3.4.6 Apresentação de dados e interação com base de dados

Finalmente é necessário que o utilizador tenha acesso a variadas informações de todos os utentes do dispensador, para isso a interface têm de estar equipada para demonstrar todas as informações pedidas, ou mesmo os históricos de adição e dispensa. Todas estas funcionalidades permitirão aos proprietários uma gestão minuciosa de todo o sistema.

Capítulo 4

Desenvolvimento do protótipo

Nesta secção do relatório serão abordados todos os passos de desenvolvimento definitivo deste projeto, começando pela explicação das ligações eletrónicas a ser utilizadas, a explicação extensiva da programação do microcontrolador, a criação dos *scripts* Python que vão estar responsáveis pela comunicação com o dispensador e pela interface WEB, finalizando na modelação do aspeto físico do dispensador.

4.1 Projeção de esquemas elétricos

Em primeiro lugar teve que ser assegurada a leitura de impressões digitais e das *tags*, não só para assegurar a dispensa das doses aos utilizadores corretos como para fornecer ao encarregado acesso aos compartimentos disponíveis.

A utilização de um microcontrolador estava associada à possibilidade dos dois controlos de acessos poderem funcionar em sincronia na mesma placa de desenvolvimento. Foi descoberto que o módulo de leitura de impressões digitais poderia utilizar comunicação em série com o microcontrolador o que permitiu a utilização de apenas um controlador central.

Os circuitos de ligação utilizados para conectar os leitores ao microcontrolador já foram referidos anteriormente, a ligação que do leitor de impressões digitais está descrita na secção 3.2.3, e a do leitor de *tags* está demonstrada na Figura 3.7.

4.1.1 Circuitos Dispensador

Para efetuar a dispensa dos medicamentos foi utilizado, como foi referido, seis motores de *step*, em primeiro lugar foi testado se o microcontrolador

conseguiria alimentar os leitores em conjunto com os motores, o que se provou impossível. Portanto foi decidido utilizar uma fonte externa para alimentar estes em separado. A montagem final desde o microcontrolador até aos motores possui um circuito com DEMUX, uma matriz de transístores e os controladores adquiridos com a compra dos motores.

A parte do protótipo que contém o *demultiplexer* foi montada de acordo com o seguinte circuito da Figura 4.1:

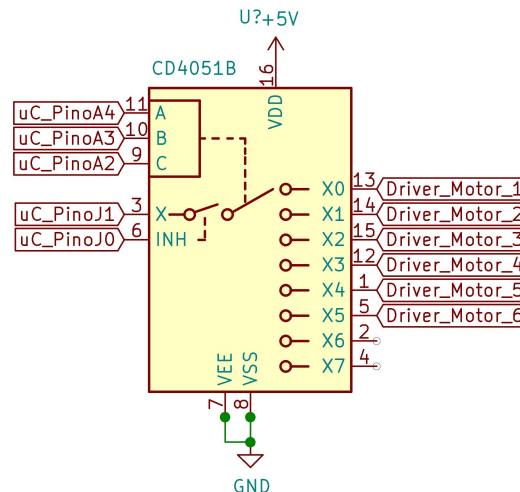


Figura 4.1: Esquema do circuito do DEMUX

Os pinos do DEMUX responsáveis pela alimentação do circuito integrado estão conectados aos pinos provenientes da plataforma Arduino, o pino de VDD aos 5 V, o GND e o VEE (alimentação negativa) estão conectados à terra do microcontrolador.

Os pinos 2, 3 e 4 do PORT A do microcontrolador estão conectados aos pinos seletores do *demultiplexer* (A, B e C), sendo estes responsáveis por seleccionar qual dos *outputs* está ativo e a receber a tensão imposta no pino comum (X no esquema). Este pino estará conectado ao pino 1 do PORT J, estando o pino 0 do mesmo PORT conectado ao INH (inibidor de *output*).

Os pinos de *output* do DEMUX estão conectados ao pino de base dos transístores que irão permitir a passagem de corrente da fonte externa para os *drivers* dos motores de forma individual. A matriz de transístores que foi montada tem o aspeto da Figura 4.2.

O pino emissor de cada transistor está conectado ao pino de alimentação do controlador de cada motor, e o pino de GND dos controladores estão conectados ao GND da fonte externa completando o circuito.

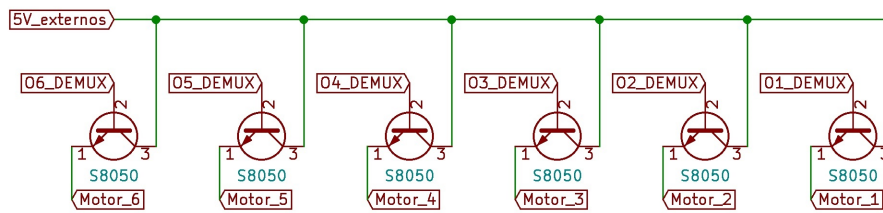


Figura 4.2: Esquema do circuito da matriz de transístores

Para fazer a escolha das bobinas que estarão ligadas para fazer os motores rodarem, todos os pinos de entrada do controlador do motor (denominados I1, I2, I3 e I4) estão conectados entre si e aos pinos 0, 1, 2 e 3 do PORT C do microcontrolador, como mostra a Figura 4.3, permitindo efetuar os *steps* da bobina de forma global mas só ativar um motor de cada vez recorrendo ao DEMUX.

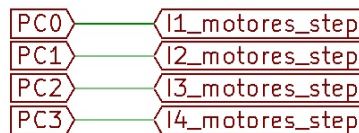


Figura 4.3: Esquema do circuito dos selecionadores de bobinas

Estes circuitos permitem que o protótipo tenha uma dispensa de medicamentos correta contando que o código de programação seja bem efetuado. Cumprindo, em princípio, um dos objetivos deste projeto.

4.1.2 Circuitos Complementares

Para efetuar o aviso de existir uma dose disponível para dispensa foi pensado utilizar um conjunto de leds para efetuar o aviso visual aos utentes. Este circuito de aviso visual foi introduzido no protótipo de acordo com o esquema da Figura 4.4).

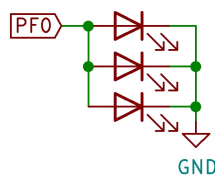


Figura 4.4: Esquema do circuito do alarme visual

Os díodos luminosos utilizados não necessitam de resistência porque são dimensionados para aguentar as tensões que o microcontrolador utiliza nos pinos de *output*. A utilização de 3 LED's em paralelo foi uma escolha pessoal, a luminosidade que provém do circuito é boa para indicador visual quando foi

experimentado, sendo que apenas um *LED* pareceu pouco como indicador. Estes estão ligados ao pino 0 do PORT F do microcontrolador utilizado.

Por último o circuito encarregue de abrir os compartimentos é igual ao circuito dos motores de dispensa, mas o sinal controlador não passa por um DEMUX, embora também fosse possível acrescentar mais uma saída a esse circuito. O pino controlador deste circuito é o pino 6 do PORT A. Que está conectado a um transistor para poder ser utilizada a fonte de alimentação externa ao microcontrolador. Este motor é igual aos utilizados no sistema de dispensa e tem o mesmo controlador acoplado. O circuito utilizado foi o que está representado na Figura 4.5.

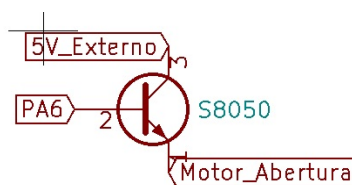


Figura 4.5: Esquema do circuito da abertura dos compartimentos

Estes circuitos concluem a fase de desenvolvimento eletrônico do projeto, permitindo novas funcionalidades ao protótipo melhorando a sua qualidade.

4.2 Programação do microcontrolador

A programação do microcontrolador escolhido será feita em linguagem C, no ATMEL Studio, como já foi referido. O protótipo terá de estar preparado para responder a comandos enviados pelo *script* Python do computador, porém terá de estar a qualquer momento a fazer *scans* para verificar se algum utilizador quer ter acesso aos seus medicamentos.

A funcionamento geral do protótipo terá de seguir a seguinte lógica de funcionamento demonstrado na Figura 4.6.

De seguida irão ser explicadas as configurações escolhidas para o microcontrolador, assim como a utilização de algumas bibliotecas pré-existentes que auxiliaram na integração dos leitores utilizados. Posteriormente serão detalhadas as instruções esperadas que acontecem quando se confirma uma impressão digital ou comando do computador.

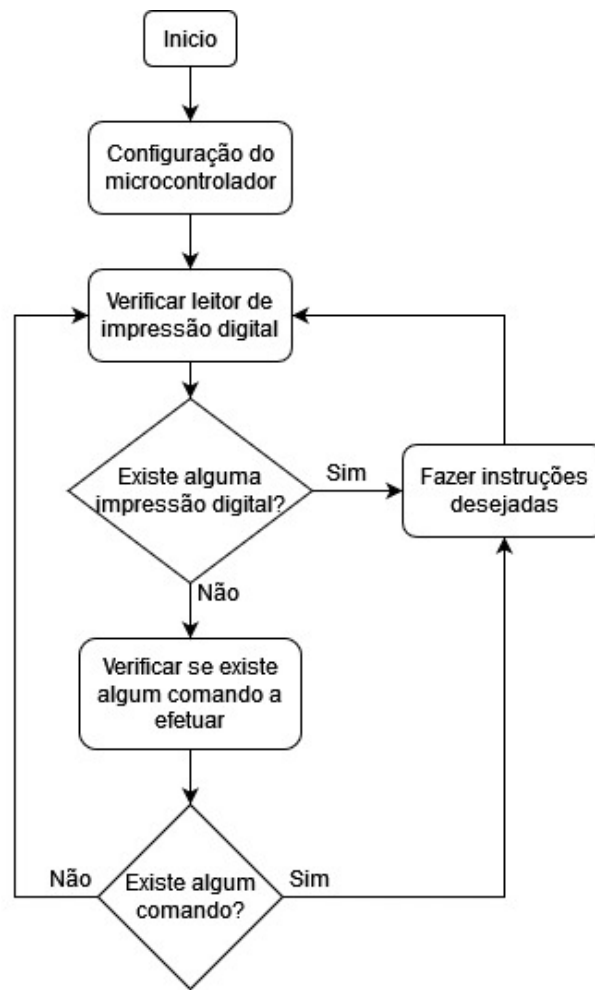


Figura 4.6: Fluxograma do funcionamento base do microcontrolador

4.2.1 Configuração

Para efetuar a configuração desejada ao microcontrolador serão mostrados algumas partes do código utilizado para este fim. Para desenvolver este protótipo teve de ser dimensionado um temporizador para utilizar com algumas funcionalidades, assim como configurar as suas interrupções e fazer a iniciação das comunicações necessárias para o microcontrolador comunicar com o computador e os leitores.

O início das configurações foram feitas segundo o código mostrado na Figura 4.7.

Em primeiro lugar é iniciada a comunicação da porta serial, seguida da iniciação dos leitores. Ambos utilizam as bibliotecas criadas por terceiros, previamente a este trabalho, sendo explicadas o seu funcionamento no capítulo seguinte.

```

Serial.begin(9600);
while (!Serial);
delay(100);

finger.begin(57600);

if (finger.verifyPassword()) {
  Serial.println("Found fingerprint sensor!");
} else {
  Serial.println("Did not find fingerprint sensor :(");
  while (1) {
    delay(1);
  }
}

SPI.begin();           // Init SPI bus
rfid.PCD_Init();      // Init MFRC522

```

Figura 4.7: Configuração de iniciação de comunicações

Na Figura 4.8 são configurados os pinos do microcontroladores que serão utilizadas para *output* ou *input* no protótipo.

```

DDRA = 0b11111111;
DDRC = 0b11111111;
DDRJ = 0b00000011;
DDRF = 0b11111111;
PORTJ = (0<<0) | (1<<1);
PORTA = (0<<5) | (1<<4) | (1<<3) | (1<<2);

```

Figura 4.8: Configuração dos pinos do microcontrolador

Os PORTS A, C e F estão todos configurados como *outputs*, mesmo que alguns desses pinos não seriam posteriormente utilizados. O PORT J tem o pino 0 e 1 configurados também como *output* de forma a controlar o comportamento do DEMUX, iniciados com os valores lógicos indicados sendo que o pino 0 é o pino inibidor do DEMUX, iniciado a 0 permitindo a utilização do mesmo e o pino 1 é o pino comum que vai ser passado para as saídas do DEMUX. A PORT A é iniciada com valor lógico de 1 nos pinos 4, 3 e 2 de maneira a que nenhuma das saídas disponíveis do DEMUX esteja ativa de início, o pino 5 foi pensado para utilizar o pino de inibição porém foi alterado posteriormente.

Em último lugar na configuração está o dimensionamento do temporizador. Foi escolhido o TIMER1 devido a este ser de 16 bits deixando mais opções de escolha para utilização. A sua configuração segue o código da Figura 4.9:

```

// TIMER1 E INTERRUPT
TCCR1A = (0<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (0<<COM1B1) | (0<<COM1B0)
        | (0<<COM1C1) | (0<<COM1C0) | (0<<WGM11) | (0<<WGM10);
TCCR1B = (0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (0<<WGM13) | (1<<WGM12)
        | (0<<CS12) | (1<<CS11) | (1<<CS10);
TCCR1C = (0<<FOC1A) | (0<<FOC1B) | (0<<FOC1C);
OCR1A = 194;
TIMSK1 = (0<<ICIE1) | (0<<OCIE1C) | (0<<OCIE1B) | (1<<OCIE1A) | (0<<TOIE1);

sei();

```

Figura 4.9: Configuração do TIMER1

A configuração utilizada define o temporizador em modo "Clear timer on compare match", com um OCR1A de 194. Foi utilizado 64 como *prescaler* porque é o valor médio disponível garantindo que um ciclo de timer seja efetuado a cada 0.001 segundos aproximadamente, segundo a equação seguinte:

$$f_c = \frac{f_m}{2 * N(1 + OCR1A)}$$

Sendo f_m a frequência de funcionamento do microcontrolador de 16 MHz, o N é o *prescaler* utilizado de 64 tendo como resultado os ciclos intervalados de 0.001s (f_c):

$$f_c = \frac{16.000.000Hz}{2 * 64(1 + 194)} = \frac{16.000.000Hz}{24960} = 641.03Hz$$

$$T_c = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{641.03Hz} = 0.0015s$$

Foi ativado também o canal A do TIMER1, garantido a sua interrupção é feita quando o OCR1A for atingido, foi também inativos todas as outras interrupções dos canais B e C assim como a de *overflow*, que teoricamente nunca é atingida devido ao recomeço do temporizador sempre que OCR1A é atingido. A função "sei()" inicia as interrupções configuradas.

4.2.2 Bibliotecas

Nesta secção serão apresentadas e explicadas as bibliotecas criadas por terceiros que foram utilizadas na programação do protótipo. As duas bibliotecas utilizadas estão responsáveis pela comunicação com os dois, leitores utilizados.

4.2.2.1 Interação com leitor de RFID

Para retirar as *tag* dos cartões que passam no leitor RFID foi utilizada a biblioteca "MFRC522", criada em janeiro de 2012 por Miguel Balboa [86], sendo utilizadas duas funções desta biblioteca "PICC_IsNewCardPresent" que está responsável por detetar a presença de um cartão para leitura e a função "PICC_ReadCardSerial" responsável por ler o identificador único do cartão a ler. O código utilizado para fazer a leitura da *tag* está demonstrado na Figura 4.10.

```
void lercartao(){
    if ( ! rfid.PICC_IsNewCardPresent() ) {
        lercartao();
    }
    while(lido==0){
        if ( ! rfid.PICC_ReadCardSerial() ) {
            lercartao();
        }
        printHex(rfid.uid.uidByte, rfid.uid.size);
    }
    return;
}

void printHex(byte *buffer, byte bufferSize) {
    Serial.print("RFID:");
    for (byte i = 0; i < bufferSize; i++) {
        Serial.print(buffer[i] < 0x10 ? "0" : "");
        Serial.print(buffer[i], HEX);
    }
    Serial.println("");
    lido=1;
    return;
}
```

Figura 4.10: Código C para leitura da *tag* RFID

A leitura da *tag* só é efetuada depois de um comando proveniente do *script* Python portanto não necessita de temporizadores associados. Primeiro é feita a verificação se existe um cartão presente para ser lido, sendo chamada de novo a função de leitura se não existir nada para ser lido, quando existe um cartão para ler faz-se a verificação se existe algum identificador para ler, quando as duas verificações são confirmadas é passado à efetiva leitura do identificador.

Esse identificador é adicionado à instância "rfid.uid" passando ao seu envio para o computador através da função "printHex". Esta função é responsável por fazer o arranjo da leitura do identificador lida em *bytes* e a comunicação retira o primeiro caractere se este for menor que "0x10", portanto tem de ser assegurado o envio correto do byte seguindo o fluxograma da Figura 4.11.

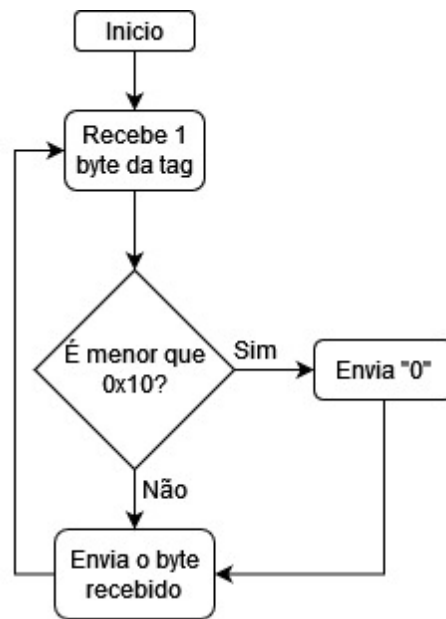


Figura 4.11: Fluxograma do envio da *tag* para o computador

Se este arranjo na comunicação não existir pode acontecer o seguinte exemplo:

- *Tag* do cartão: 03B1C50A
- Envio sem arranjo: 3B1C5A
- Envio com arranjo: 03B1C50A

Sem o arranjo é possível verificar, neste exemplo, que os "0" em primeiro lugar de cada byte são anulados durante o envio pela porta série, sendo enviados todos os *bytes* que compõem o identificador.

4.2.2.2 Interação com leitor de impressão digital

A segunda biblioteca utilizada é a responsável pela interação com o leitor de impressões digitais, sendo esta a biblioteca "Adafruit_Fingerprint.h" criada pelos fabricantes do módulo Adafruit[87], visto que como têm conhecimento do desenvolvimento dos processamentos de imagem que acontecem no próprio módulo sabendo como efetuar a comunicação correta com este e identificar as suas respostas.

As funções utilizadas desta biblioteca são as seguintes:

- `getFingerprintID` - Responsável por identificar qual é o id da impressão digital que está a aceder ao módulo;

- `deleteFingerprint` - Elimina um identificador do módulo, necessitando do número do id como parametro;
- `getFingerprintEnroll` - Permite adicionar uma impressão digital ao módulo, precisando também do número do identificador onde irá ficar guardada;

Todas estas funções funcionam com a mesma lógica, é enviado um pedido ao módulo e este processa o pedido e responde com o código indicado, como por exemplo, existem códigos de confirmação ou erro de processamento ou captura de imagem do módulo, confirmação ou erro de interação com a memória do módulo, sendo um total de 23 respostas diferentes definidas pelo fabricante.

Estas são as bibliotecas de interação com os leitores que foram escolhidos, facilitando a comunicação do microcontrolador com estes e permitindo que o protótipo seja desenvolvido a partir destas interações.

4.2.3 Dispensa de medicamentos

Após efetuar a leitura de uma impressão digital, no fluxograma da Figura 4.6 está indicado que se irá "Fazer instruções desejadas", este bloco é muito abrangente porque existem duas possibilidades, a dispensa de comprimidos ou a identificação de um responsável.

A última apenas indica ao *script* Python, que faz a comunicação entre o dispensador e o computador, que o identificador de impressão digital que se vai ler de seguida é para identificar o responsável que quer abrir os compartimentos de armazenamento do dispensador e não para efetuar uma dispensa de comprimidos.

Em caso de pedido de dosagem permite que o sistema identifique o utilizador e receba o comando de iniciar a dispensa disponível reconhecendo quantos medicamentos terá de dispensar de cada medicamento. Para isto terá de ser feito o arranjo ao pedido vindo do computador para que possa ser transformado no movimento correto dos motores.

Quando existe a instrução para dispensa de medicamentos e como existem 6 compartimentos é esperado a receção é esperado, em primeiro lugar um número com 6 algarismos vindo do computador confirmando quantas dispensas são necessárias de cada compartimento, sendo que cada caractere do número define quantos medicamentos são precisos de cada compartimento. Por exemplo, se o número "010200" for recebido, é esperado 1 comprimido do segundo compartimento e 2 comprimidos do quarto compartimento.

Recebendo este número será repartido numa matriz de 6 valores para separar estes caracteres de forma a serem manipulados individualmente,

posteriormente será necessário ativar os motores correspondentes o número de vezes necessário para fazer a dispensa correta.

Para isto a matriz é analisada sequencialmente, sendo que qualquer valor de 0 é ignorado, para os restantes é necessário identificar qual dos motores é necessário, ativando os pinos corretos do DEMUX e fazer isto a quantidade de vezes necessária para uma correta dispensa.

Por exemplo, com o número "010200", compõe a matriz [0, 1, 0, 2, 0, 0], sequencialmente é analisado cada índice da matriz, ignorando os 0. Quando não é 0, transforma o índice analisado em binário que corresponde ao motor a seleccionar e ativa os pinos de seleção do DEMUX em concordância, faz o motor rodar (explicado de seguida), decrementa o número na matriz até este ser 0, passando ao seguinte.

O movimento de rotação dos motores é assegurado pelo código mostrado na Figura 4.12.

```
void rodarmotor(){
    while(fase!=totalsteps){
        delay(1);
        if (flagmotor==1){
            flagmotor=0;

            if (fase%4==0){
                PORTC = (1<<0) | (1<<1);
            }
            if (fase%4==1){
                PORTC = (1<<1) | (1<<2);
            }
            if (fase%4==2){
                PORTC = (1<<2) | (1<<3);
            }
            if (fase%4==3){
                PORTC = (1<<3) | (1<<0);
            }
            fase++;
            contamotor=0;
        }
    }
}
```

Figura 4.12: Código para rodar motores *stepper*

Como se pode verificar a seleção das bobinas do motor *step* é feita sequencialmente de forma cíclica de maneira a permitir uma rotação suave e contínua, cada passo é feito com um intervalo de 0.01 s demorando 10 ciclos do

TIMER1 entre cada passo. A quantidade de passos a dar foi definida aquando do desenvolvimento físico do protótipo, sendo que foi escolhido 128 passos por cada dispensa sendo uma divisão certa dos 1024 passos para uma rotação completa, permitindo fazer 16 dispensas a cada 360° de rotação. O porquê desta escolha será explicada quando o desenvolvimento físico for abordado.

4.2.4 Comandos disponíveis

Neste capítulo serão demonstrados que outros comandos estão a ser utilizados no microcontrolador a pedido do *script* Python, estes foram brevemente referidos na Figura 4.6 e são os seguintes:

- Guardar nova impressão digital;
- Eliminar impressão digital;
- Ler *tag* RFID;
- Informar que a próxima impressão digital é para verificação de responsável;
- Ativar ou desativar alarme visual
- Abrir ou fechar os compartimentos

Os primeiros 3 comandos foram explicados na apresentação das bibliotecas, portanto irão ser explicados os restantes comandos.

4.2.4.1 Abertura ou fecho de compartimentos

Para existir a abertura dos compartimentos o motor desejado é ativado e como se utiliza um motor igual aos de dispensa o código de rotação para a abertura é igual ao de rotação de dispensa diferenciando no total dos passos a efetuar, sendo que 384 foram os passos definidos correspondendo a 37.5° de rotação permitindo um acesso adequado aos compartimentos.

O fecho dos compartimentos é feito de maneira semelhante mas invertendo a ordem das bobinas, como é demonstrado na Figura 4.13.

Isto permite o acesso aos compartimentos de medicamentos depois de ser verificada a identidade do utilizador, que será explicada na secção do código Python.

```
if (fase%4==0){
    PORTC = (1<<3) | (1<<0);
}
if (fase%4==1){
    PORTC = (1<<2) | (1<<3);
}
if (fase%4==2){
    PORTC = (1<<1) | (1<<2);
}
if (fase%4==3){
    PORTC = (1<<0) | (1<<1);
}
```

Figura 4.13: Sequencia do motor *step* para fechar compartimentos

4.2.4.2 Alarme Visual

O alarme visual é apenas a mudança de estado do pino onde a matriz de LED's está conectada, como se pode verificar no código da Figura 4.14, a mudança é feita a pedido do computador.

```
case 'A':
    Serial.println("Alarme");
    PORTF = PORTF^(1<<0);
    return;
```

Figura 4.14: Código para alterar estado do alarme visual

4.3 Software Python

Nesta fase do relatório está a explicação dos programas escritos em Python. Será utilizado um programa ou *script* responsável pela comunicação bilateral com o microcontrolador e um projeto desenvolvido na *framework* Django que está encarregue da plataforma Web e que permite ao utilizador controlar e gerir o protótipo.

Para este projeto é necessário existir uma comunicação fluida entre microcontrolador, interface Web e as bases de dados. Porém apenas uma conexão serial pode estar iniciada num determinado momento, não podendo ser utilizada por outro programa enquanto não for fechada corretamente. Teria de se garantir que o protótipo tenha capacidade de comunicar alterações às bases de dados através do *script* mencionado e para que a plataforma WEB consiga processar comandos para o protótipo.

Para alcançar este objetivo foi pensado numa solução que utiliza bases de dados. Sendo que o *script* irá utilizar estas para efetuar os comandos provenientes da plataforma Web para o protótipo sem ter de alternar entre diferentes iniciações com a comunicação serial.

Esta solução levou à criação de algumas tabelas de dados de serviço:

- Comandos - destinado a guardar comandos originados da interface WEB destinados ao microcontrolador;
- Impressões Digitais - guarda as impressões digitais lidas pelo microcontrolador para que a interface web possa consultar quando necessário;
- *Tags* RFID - a mesma função que a anterior para identificadores RF;

Todas estas bases de dados serão populadas com informação temporária, no sentido em que a mesma é para ser processada e eliminada posteriormente, a utilização destas serão indicadas quando se explicar as partes da programação onde são relevantes.

Esta solução evita que a iniciação da comunicação com o microcontrolador seja constantemente partilhada, evitando que algum comando se perca quando se efetuam os cortes de comunicação. Por exemplo, um responsável querer abrir os compartimentos (utilizando a interface web) e existir interação com o alarme visual, um dos comandos seria ignorado e no caso de ser o alarme poderia dessincronizar o mesmo estando ele ativo quando não é necessário ou vice-versa.

Com esta informação já se pode prosseguir para a explicação do *script* Python que interage com o protótipo, pois este já utiliza estas bases de dados.

4.3.1 **Script de interação com Protótipo**

Nesta secção vai ser explicada a programação do *script* que estabelece a comunicação entre o microcontrolador e as bases de dados, correndo este no computador onde o protótipo está conectado.

O programa corre de forma cíclica fazendo várias verificações tanto de comunicação com o microcontrolador como de controlo de tempo para as dispensas do protótipo. É de referir que todas as verificações são seguidas de instruções específicas caso se confirmem, porém a sua inclusão no fluxograma da Figura 4.15.

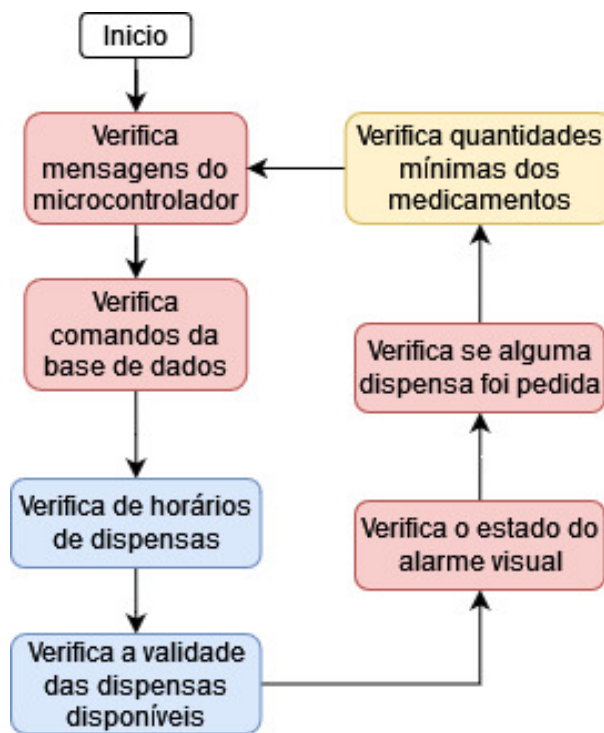


Figura 4.15: Fluxograma de verificações do *script Python*

A diferença nas cores do fluxograma corresponde à periodicidade de cada verificação, a vermelho serão feitas em qualquer ciclo do programa, a azul são efetuadas a cada minuto, porque não é necessário comparar a mesma hora com as doses a dispensar mais do que uma vez por minuto, por último, a amarelo só é efetuada a cada 10 minutos. De seguida estão explicadas as instruções a tomar quando se confirmam as verificações feitas pelo *script*.

4.3.1.1 Verificação de mensagens do microcontrolador

Existem 5 tipos de mensagens que este programa está preparado para receber do microcontrolador:

- Fim de dispensa - Informa que a dispensa pedida terminou, ficando disponível o *token* criado para que não existam mistura de dispensas;
- Erro de leitura de impressão digital - Informa que existiu algum erro com o reconhecimento das impressões digitais, só acontecendo quando é pedido para eliminar uma impressão digital do sistema ou para guardar uma impressão digital nova nas bases de dados. O comando é reenviado para o microcontrolador para que uma nova tentativa seja efetuada;

- RFID - Envia a *tag* reconhecida pelo leitor depois de receber um pedido para efetuar uma leitura, este identificador é gravado na base de dados temporária respetiva;
- Impressão digital para dispensa - Guarda na base de dados temporária o identificador da impressão digital que acabou de ser lida, com finalidade de efetuar uma dispensa de medicamentos;
- Impressão digital pedida pela interface web - Semelhante ao anterior mas com um indicador para não ser processada como pedido de dispensa de um utente;

A verificação de mensagens vindas do microcontrolador terá de ser efetuada várias vezes por minuto, evitando que os utentes fiquem demasiado tempo à espera dos seus medicamentos.

4.3.1.2 Verificação da base de dados de comandos

Esta verificação confirma se existe algum comando pedido pela interface WEB ao protótipo na base de dados temporária. Quando é confirmada a sua existência, esta é enviada para o microcontrolador, sendo posteriormente apagada da base de dados quando a tarefa associada é efetuada corretamente.

4.3.1.3 Verificação dos horários de dispensas

Esta verificação é a primeira a acontecer apenas 1 vez por minuto, visto que comparar os tempos de dispensa dos utilizadores com o tempo do relógio, sendo estes indicados ao minuto, existiria o risco de colocar uma dispensa repetida no sistema.

Em primeiro lugar é necessário explicar como são determinadas as horas das dispensas dos utilizadores, para se perceber quais são os tempos a comparar.

Quando um utilizador é registado, é pedido para se fornecer alguns dados pessoais, incluindo os tempos aproximados de quando este acorda, almoça, janta e se deita, permitindo assim ao sistema guardar os horários de dispensa dos seus utilizadores.

Assim, como as dispensas dos utilizadores são indicadas ao minuto (hh:mm) cada vez que passa 1 minuto existe uma comparação com todos os tempos de todos os utilizadores do sistema. As instruções a seguir em caso de igualdade estão mostradas no fluxograma da Figura 4.16:

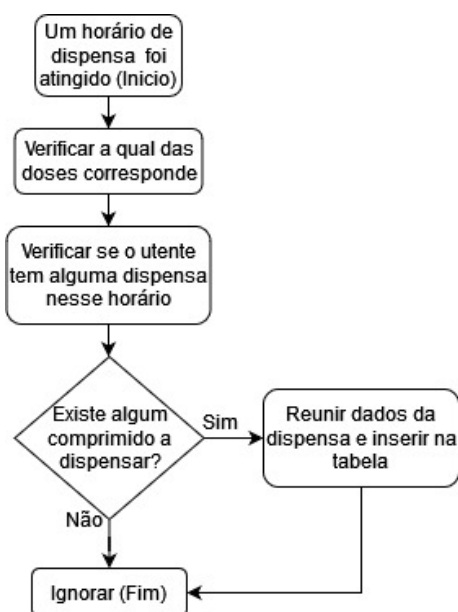


Figura 4.16: Fluxograma de verificação de horário das dispensas

Antes de rever o fluxograma mostrado existe mais uma tabela que tem de ser apresentada, a tabela responsável por guardar quantos medicamentos de cada compartimento serão dispensados em cada dose para cada utilizador.

Ao introduzir um utilizador no sistema a rotina de medicamentos não é iniciada automaticamente, pois este utilizador pode apenas ser um gerente do sistema. Quando a rotina de medicação é iniciada manualmente são criadas simultaneamente 4 instancias na tabela referida, cada uma destinada a cada dose (ao acordar, ao almoço, ao jantar e ao deitar), sendo as quatro associadas ao identificador do utilizador pretendido.

Ao iniciar a rotina do utilizador "Pedro Cerqueira" com o identificador "1", este será o aspeto inicial das 4 entradas na tabela da Figura 4.17.

21	Pedro Cerqueira	Acordar	0	0	0	0	0	0	1
22	Pedro Cerqueira	Almoço	0	0	0	0	0	0	1
23	Pedro Cerqueira	Jantar	0	0	0	0	0	0	1
24	Pedro Cerqueira	Deitar	0	0	0	0	0	0	1

Figura 4.17: Iniciação de instâncias de rotina

Como se pode verificar, o nome e o identificador do utilizador são passados para a tabela de rotinas, sendo criada uma instancia por dose pré-definida. As seis células iniciadas com valor "0" são as indicadoras de quantos medicamentos de cada compartimento irão ser dispensados nessa dose. Estes valores poderão ser alterados posteriormente pelos gerentes do sistema.

Apresentada a ultima tabela, temos disponíveis as duas tabelas que serão utilizadas para reunir os dados da dispensa.

A dispensa pretendida será introduzida numa tabela que irá guardar todo o histórico de dispensas do sistema, incluindo as dispensas falhadas. O preenchimento é realizado seguindo a lógica da Figura 4.18.

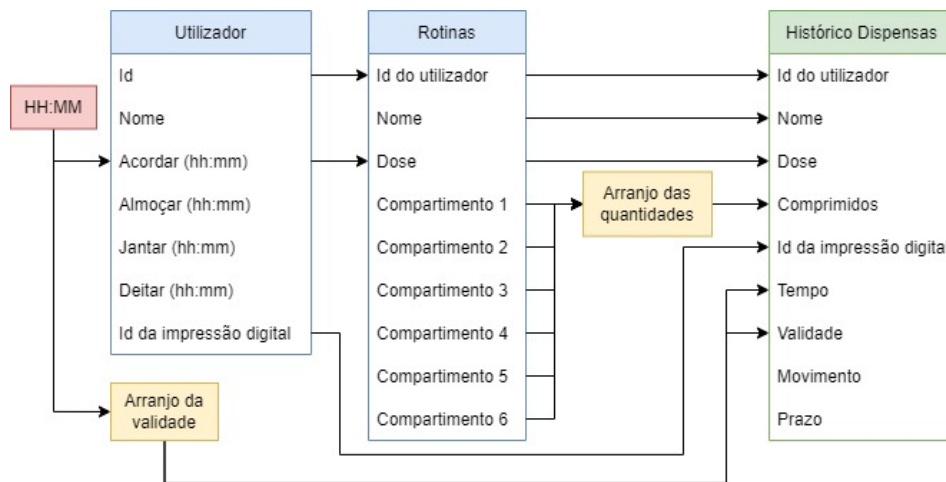


Figura 4.18: Preenchimento da tabela de histórico de dispensas

Quando a hora da verificação coincide com qualquer uma das doses de qualquer utilizador existe a criação de uma instância de dispensa. O identificador do utilizador e a dose são utilizados para consultar a tabela de rotinas e retirar todas as quantidades de comprimidos dessa dispensa. O nome, o seu identificador e a dose pretendida serão adicionadas à instância a criar.

De seguida, com todas as quantidades de comprimidos adquiridas, é efetuado o seu arranjo, para que a informação da dispensa dos seis compartimentos seja passada para o protótipo numa só mensagem. Todas as quantidades são concatenadas numa *string* única, efetuando, de seguida, a verificação de que a dose referida têm algum comprimido a dispensar, isto é, se o resultado deste arranjo for igual a "000000" significa que neste horário o utente não tem qualquer dispensa e portanto não é necessário criar qualquer instância.

Confirmando a existência de uma dispensa para este horário é efetuada o arranjo dos tempos da mesma, sendo criados os 2 parâmetros de tempo desta instância. A célula que guarda o tempo é inicialmente criada com o horário da dose do paciente, mas posteriormente será alterada para o tempo de dispensa se esta for efetivamente efetuada. A célula de Validade cria um tempo com uma hora adicionada ao tempo da dose, dando ao utente essa janela de oportunidade para pedir a dispensa dos seus comprimidos.

As duas últimas células alojam 2 valores booleanos que permitirão efetuar algumas verificações necessárias, será explicada a sua importância mais à frente neste relatório, quando for apropriado. Uma será utilizada para confirmar, no histórico, se a dispensa foi efetuada e outro será para assinalar se a dispensa ainda está dentro da validade. Ambos serão iniciados com valor "0".

Com todos estes dados reunidos sobre a dispensa pretendida, esta será guardada na tabela de histórico de dispensa que poderá ser consultada para oferecer ao utente a sua dose de comprimidos e para o gestor receber informações sobre as dispensas dos medicamentos.

4.3.1.4 Verificação de validades de dispensas disponíveis

A próxima tarefa feita a cada minuto é a verificação da validade das dispensas disponíveis. Esta verificação segue o fluxograma da Figura 4.19. No fluxograma da esquerda é o funcionamento superficial da verificação, o da direita especifica o que é feito durante o processamento das instâncias encontradas, a tracejado está a passagem para o fluxograma geral depois do processamento.

Em primeiro lugar, é feita uma pesquisa na tabela de histórico de dispensas, verificando onde a célula booleana relacionada com o prazo ainda não foi modificada (i.e. está a "0"), das instâncias que satisfazem esta condição são retiradas informações como o nome, a dose, a hora da validade e a célula booleana relacionada com a confirmação da dispensa.

De seguida é feita a comparação entre o tempo atual e a hora de validade de cada instância, quando existe uma igualdade a célula booleana de Prazo é alterada para "1" confirmando que a validade desta dispensa foi ultrapassada.

Por último é verificado se, quando a validade foi ultrapassada, a dispensa já teria sido efetuada com sucesso. Se o prazo for ultrapassado sem existir dispensa, as restantes informações da instância em questão serão passadas para uma função responsável por enviar um *e-mail* ao gestor do sistema, com a finalidade de fornecer um aviso de falha de dispensa. O sistema de envio de *e-mails* será explorado mais à frente.

Desta maneira é garantido que nenhuma dispensa é falhada sem avisar o gestor, assim como não permite que as doses de certo horário não sejam dispensadas noutro horário, apenas permitindo uma hora de intervalo para as efetuar.

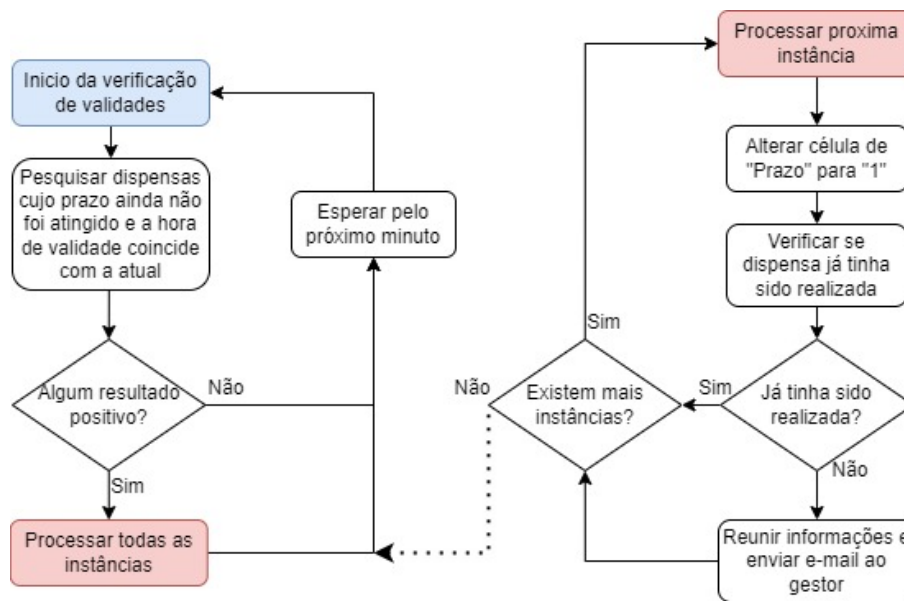


Figura 4.19: Fluxograma de verificação de validade e de processamento das instâncias

4.3.1.5 Verificação do estado do alarme

Esta verificação será feita em todos os ciclos do *script*, com o objetivo de informar o microcontrolador quando terá de alterar o estado do alarme. Utilizando as duas células booleanas do histórico de dispensas, será efetuada uma pesquisa se alguma instância ainda não foi entregue (valor "0") e ainda está dentro do prazo (valor "0"). Se o alarme não estiver ligado e existir alguma instância com as condições desejadas será feito um comando de alteração do estado do alarme ao microcontrolador, o mesmo acontece se o alarme estiver ligado e não existir nenhuma instância onde as condições se confirmam. Quando existe o comando efetuado ao microcontrolador é também alterada a variável de estado do alarme dentro do *script*.

Ambos os estados do alarme no *script* Python e no microcontrolador iniciam-se desligados, isto garante que ambos estão sincronizados com o funcionamento normal do protótipo.

4.3.1.6 Verificação da quantidade mínima de medicamentos

Uma das verificações mais importantes do sistema é a verificação das quantidades que o dispensador tem disponível para os utentes. Com isto em mente, será implementado um nível crítico e um nível de aviso de medicamentos, para que o gestor seja avisado quando os níveis de medicamentos estão em baixo. Esta verificação será efetuada com intervalos de 10 minutos.

O nível que se considerou adequado para gerar um aviso foi um cálculo do somatório de todas as dispensas para 24 horas multiplicada por 3 dias. Por sua vez, Para se perceber melhor este cálculo, a Tabela 4.1 explica ao pormenor a conta efetuada num sistema com 3 utentes.

Tabela 4.1: Cálculo do nível de aviso e crítico do dispensador

Utente	Dose	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6
Ut.1	Acordar	0	0	1	0	1	0
Ut.1	Almoço	1	0	0	1	0	0
Ut.1	Jantar	0	0	0	1	1	0
Ut.1	Deitar	2	0	0	1	1	0
Ut.2	Acordar	0	0	0	0	1	3
Ut.2	Almoço	1	0	0	0	0	0
Ut.2	Jantar	0	0	0	0	0	0
Ut.2	Deitar	0	0	2	0	1	0
Ut.3	Acordar	0	1	0	0	0	0
Ut.3	Almoço	0	0	0	0	0	0
Ut.3	Jantar	0	0	0	1	0	1
Ut.3	Deitar	0	0	0	0	1	0
Total	Crítico	4	1	3	4	6	4
Total	Aviso	12	3	9	12	18	12

Como se pode verificar, por exemplo, num sistema que estará previsto dispensar 4 comprimidos do compartimento 1 por dia, o nível crítico será de 4 e o nível de aviso o triplo deste valor (12 comprimidos). Esta lógica será aplicada a todos os compartimentos.

Estes níveis serão atualizados a cada 10 minutos e servirão como comparador quando uma dispensa é efetuada. Sendo os gestores avisados por *e-mail* quando, depois de uma dispensa, estes níveis forem atingidos. Como foi referido, o sistema de envio de *e-mails* será explicado mais à frente no relatório.

4.3.1.7 Verificação de pedido de dispensa

Esta verificação fica encarregue de acionar a tarefa mais importante deste protótipo, a dispensa de medicamentos. Como foi referido, quando o microcontrolador detetar uma impressão digital envia, para o computador, o seu identificador e a informação se o impressão originou de uso normal ou foi pedida pela interface *web*.

Se a deteção for por uso normal será sinal que uma dispensa está a ser pedida por um utente. Esta ação precisará de um sistema de *token* para que apenas uma dispensa seja efetuada simultaneamente. Quando esse *token* está disponível

a verificação de pedido de dispensa será efetuado seguindo o fluxograma da Figura 4.20.

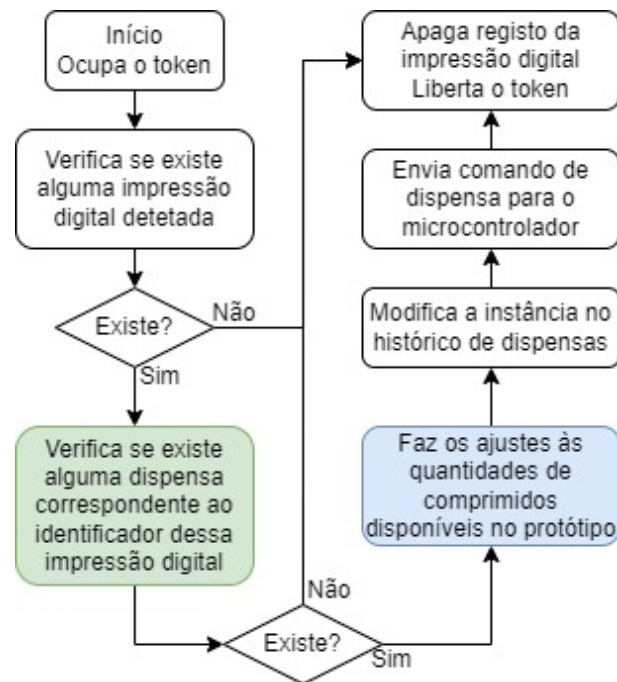


Figura 4.20: Fluxograma de verificação de pedido de dispensa

As tarefas a cores estão destacadas porque necessitam de mais detalhes para perceber a sua importância neste protótipo. Como foi referido, quando só quando o *token* estiver disponível é que se iniciará a verificação de um pedido de dispensa, consultando a tabela que guarda as impressões digitais que o microcontrolador detetar, se for uma impressão digital que não foi pedida pelo gestor do dispensador esta estará devidamente indicada. No caso de não existir uma leitura positiva, o *token* será libertado e a verificação vai ser efetuada novamente no próximo ciclo do *script*.

No caso de uma leitura positiva, significa que um utente estará a pedir uma dispensa de comprimidos, no entanto, o sistema tem de verificar se esse utente tem alguma dispensa para lhe ser entregue (tarefa indicada com a cor verde no fluxograma da Figura 4.20).

No caso de utentes com problemas de memória é importante assegurar que estes não se medicam excessivamente. Portanto, a pesquisa que será feita ao histórico de dispensas do dispositivo utiliza 3 indicadores que necessitarão ser confirmados para que a dispensa seja corretamente iniciada:

- Identificador de impressão digital - Terá de existir uma dispensa que espera o mesmo identificador de impressão digital que foi detetado;

- Indicador de dispensa - Este indicador confirma se a dispensa indicada já foi, ou não, dispensada;
- Indicador de prazo - Este indicador informa se a dispensa encontrada ainda está dentro do prazo definido;

Dentro destes indicadores, é necessário que exista uma instância na tabela de histórico que contenha o mesmo identificador de impressão digital que foi detetado no microcontrolador, e que ambos os indicadores de estado estejam a "0"(valor com que foram iniciados). Os significados das combinações destes indicadores estão referidos na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Significado dos valores dos indicadores de estado da dispensa

Ind. de dispensa	Ind. de prazo	Estado da dispensa
0	0	Disponível
0	1	Fora de prazo (Falhada)
1	0	Dispensada
1	1	Dispensada (+1 hora)

Se estas condições não forem atingidas o *token* é libertado, caso contrário, será efetuada uma dispensa de medicamentos, começando com o ajuste das quantidades de comprimidos disponíveis no sistema (tarefa indicada a azul no fluxograma da Figura 4.20).

Esta tarefa foi destacada porque também introduz uma das mais importantes verificações do sistema, a confirmação que existem, no dispensador, os medicamentos necessários para efetuar a dispensa completa e a sua retirada do inventário.

Em primeiro lugar, existirá a comparação dos comprimidos necessários para a dispensa em questão, garantindo que tanto o utente está propriamente medicado, assim como, o gestor ter conhecimento quando o mesmo não acontece.

Na Tabela 4.3 indica o que acontece de diferente com a dispensa quando existem ou não as quantidades necessárias para a efetuar totalmente. O caractere "/" separa os valores dos seis diferentes compartimentos do dispensador.

Como se pode verificar, num sistema que tem medicamentos suficientes tudo acontecerá como esperado, não sendo necessário o envio de aviso aos gestores do sistema, pelo contrário, no caso de não existirem comprimidos suficientes, a dispensa será reduzida à quantidade disponível, sendo o gestor avisado que o utente foi medicado de maneira insuficiente.

Tabela 4.3: Resultados das verificações de quantidades de medicamentos

Casos	Med. Suficientes	Med. Insuficientes
Dispensa pedida	0/2/0/1/3/0	0/2/0/1/3/0
Quant. disponíveis	10/10/10/10/10/10	10/10/10/10/2/10
Dispensa efetuada	0/2/0/1/3/0	0/2/0/1/2/0
Quant. restante	10/8/10/9/7/10	10/8/10/9/0/10
<i>E-mail</i>	Não	Sim

De seguida, será verificado se os comprimidos que restam depois da dispensa atingem os dois níveis que foram explicados anteriormente (o nível de aviso e o nível crítico), se forem atingidos será enviado um aviso aos gestores via *e-mail*.

Ficando explicadas as tarefas destacadas a cor na Figura 4.20, resta explicar as tarefas mais diretas da dispensa de medicamentos.

- Modificar a instância no histórico de dispensas - existirá a mudança do indicador de dispensa para "1" indicando que a dispensa foi entregue;
- Enviar comando para dispensador - será enviado o comando responsável por iniciar a dispensa dos comprimidos para o microcontrolador e as quantidades dos respetivos comprimidos;
- Apagar o registo das impressões digitais - Como foi referido anteriormente, esta tabela é temporária, e assim que uma leitura é processada a tabela é limpa para que não existam processamentos duplicados;

Com todas estas tarefas efetuadas o *token* de dispensa é libertado para que seja permitido efetuar a próxima dispensa, terminando a secção do programa responsável pela dispensa de medicamentos.

4.3.1.8 Envio de *e-mail* de aviso aos responsáveis

Com todos as funções vitais do *script* Python explicadas, resta detalhar o envio de *e-mails* de aviso para os gestores do dispensador.

Uma das informações que os gestores podem fornecer ao dispensador é o seu *e-mail*, que será utilizado, por parte do protótipo, para enviar mensagens de aviso importantes para a correta medicação dos utentes incluídos no sistema.

Existem 3 tipos de avisos que serão enviados para os gestores do sistema:

- Quantidades - enviado quando a quantidade de algum medicamento atinge um dos níveis de controlo explicados anteriormente;
- Validade - enviado no evento de alguma dispensa atingir a validade sem ser dispensada;
- Falha - enviado na ocasião de um utente precisar de mais comprimidos do que os disponíveis no dispensador;

De seguida será explicada as estruturas pensadas para cada *e-mail*, toda a informação entre parenteses retos ("[]") será substituída por informação recolhida pelas verificações acima descritas.

Quantidades

A estrutura deste *e-mail* terá de avisar o gestor quais são os medicamentos que atingiram os níveis definidos. Portanto, é esperado que tenham a seguinte estrutura:

Os medicamentos seguintes estão em falta nos próximos 3 dias:
- [Nome do Medicamento];
- [Nome do Medicamento] (C);
...
Se o medicamento estiver marcado com (C) é critico fazer a reposição.
Por favor verificar compartimentos.

Desta forma será permitido ao gestor saber que medicamentos necessita de adquirir antes de abrir o dispensador para fazer a reposição de medicamentos. Os comprimidos que atingirem o nível critico de quantidades estarão indicados com "(C)" para que o gestor tenha especial atenção pois o dispensador não terá *stock* para acomodar as próximas 24 horas de funcionamento.

Validade

Este aviso estará responsável por informar que pacientes falharam uma dispensa disponível, seguirá a seguinte estrutura:

Os seguintes utentes falharam uma dose:
Utente | Dose
-[Nome do utente] | [Dose falhada];
-[Nome do utente] | [Dose falhada];
...
Verifique a razão desta falha de medicação.

Esta estrutura assegura que todas as dispensas que passam de validade no mesmo momento são incluídas na mensagem, isto é, se dois utentes tiverem

uma dispensa com hora coincidente e se ambos não efetuarem o pedido de dispensa, a informação de ambas estarão no *e-mail* enviado.

Falha

Quando uma dispensa está em andamento e não existem medicamentos suficientes para a efetuar completamente, é esperado que o gestor receba um *e-mail* com a seguinte estrutura:

Devido a falta de comprimidos um utente não tomou a dose completa.

-[Nome do utente] falhou [Quantidade em falta] do medicamento [Nome do medicamento] na dose ao [Dose]
Verifique se pode finalizar a dose do utente.

Esta mensagem permitirá ao gestor saber toda a informação necessária para finalizar corretamente a dosagem necessária. Sabendo exatamente a quantidade e o medicamento em falta para o respetivo utente.

4.3.2 Interface *WEB* de controlo

Com o *script* totalmente Python explicado, resta agora a criação da plataforma de interação e programação do dispensador, capaz de controlar e gerir o inventário do mesmo remotamente. Permitindo também aos gestores do sistema a supervisão dos utentes incluídos nas tarefas no dispensador. Como foi referido, a aplicação utilizada será a *framework* Django, juntando a criação de páginas HTML integrada com programação Python e a gestão de bases de dados necessárias para o funcionamento correto, a Figura 4.21 mostra a lógica fundamental de como a aplicação criada funcionará.

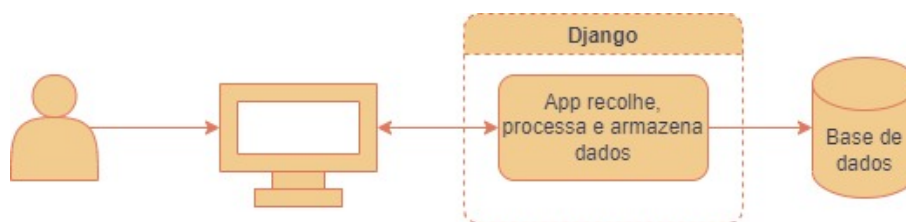


Figura 4.21: Lógica fundamental da aplicação Django

As funcionalidades de vigia de valores sanguíneos e de índice de massa corporal (IMC) estão todas implementadas nesta secção da interface WEB, não necessitando de *scripts* Python dedicados. As bases de dados utilizadas serão explicadas mais à frente no relatório na secção 4.3.2.3 juntamente com todas as restantes.

4.3.2.1 Funcionamento lógico da *framework*

A *framework* escolhida para o projeto tem a capacidade de criar uma conexão direta entre *script* Python, o armazenamento de dados e a sua apresentação ao utilizador. Porém esta a ligação padece de um funcionamento particular cuja lógica necessita de demonstração.

A Figura 4.22 faz essa mesma demonstração de uma maneira prática, de quando um *hyperlink* de uma página utiliza o método POST para gerar um formulário HTTP. Este é ligado a um URL por uma função Python, "url". Esta função pode ser implementada dentro de código HTML utilizando os indicadores "{%...%}" (a negrito na figura seguinte).

Essa função é processada dentro do ficheiro "urls.py" onde é utilizado um vetor para cada URL esperado, que está associado a um nome, neste particular caso "adding". Aceder ao URL inicia uma função associada ao vetor indicado, que está escrita no ficheiro "views.py", podendo assim pedir acessos e verificações nas bases de dados, criadas no ficheiro "models.py". Posteriormente a todo o processamento e verificação de dados a função referida retorna uma página HTML ao utilizador ou inicia o redirecionamento a outro URL.

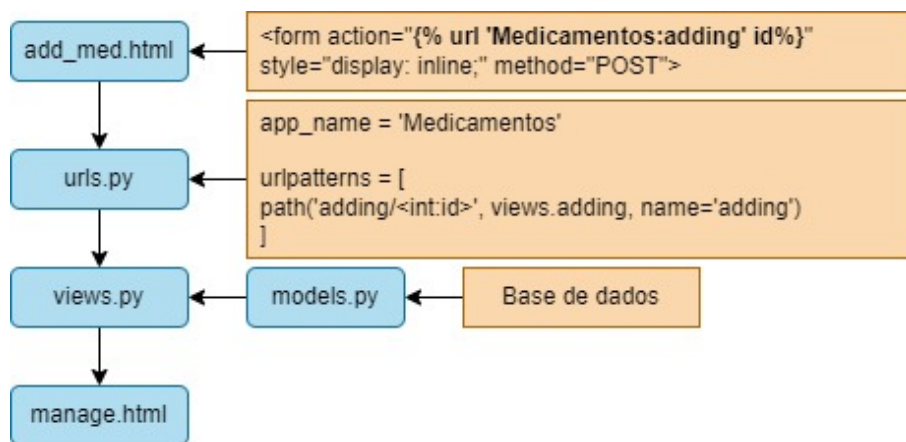


Figura 4.22: Funcionamento de *hyperlinks* da *framework*

Nem todos os *hyperlinks* das páginas WEB têm de criar formulários, podem simplesmente efetuar um redirecionamento e/ou um processamento de informação, porém este foi um exemplo mais complexo escolhido para demonstração e que engloba a utilização de formulários onde o utilizador pode introduzir informação para as bases de dados.

4.3.2.2 Python - HTML, como interagem em Django

A interação entre o código Python e HTML permite à *framework* apresentar conteúdo das bases de dados de maneira organizada nas páginas HTML criadas. Com esta finalidade é utilizada a função "render" das bibliotecas fornecidas pelo Django, podendo responder aos pedidos HTTP.

Para criar a página HTML de destino é necessário incluir no pedido HTTP a própria *template* HTML criada e o contexto que terá toda a informação do Python a ser incluída na renderização da página destino.

Na Figura 4.23 este funcionamento pode ser demonstrado com um exemplo simples. Do lado esquerdo da imagem está o ficheiro com código Python com a função "inicio", que está pronto a receber o pedido HTTP ("request"), esta função tem a tarefa de atribuir determinados valores às variáveis "nome" e "idade" ("Pedro" e "28" respetivamente). De seguida, é iniciado um dicionário Python ("context") em que os campos do mesmo são associados às variáveis respetivas. Por fim é chamada a função "render", referida acima, respondendo ao pedido HTTP gerando a página HTML com o conteúdo passado para o dicionário.

Do lado direito da imagem, está a *template* HTML criada com a capacidade de apresentar os dados contidos no "context" passado. Para fazer esta apresentação ao campos do dicionário são apresentados dentro de dupla chaveta ("{{...}}") com o nome do campo no seu interior. Na parte de baixo da figura seguinte está apresentado o resultado obtido com os dois ficheiros demonstrados.

<pre> 1 views.py 2 3 def inicio(request): 4 nome = "Pedro" 5 idade = 28 6 context = { 7 'nome': nome, 8 'idade': idade, 9 } 10 return render (request, 'pagina.html', 11 context=context) </pre>	<pre> 1 pagina.html 2 3 <!DOCTYPE html> 4 <html> 5 <head> 6 <title>Inicio</title> 7 </head> 8 <body> 9 <h1>O meu nome é {{ nome }}!</h1> 10 <p>Tenho {{ idade }} anos.</p> 11 </body></html> </pre>
---	--

O meu nome é Pedro!

Tenho 28 anos.

Figura 4.23: Resultado da interação entre Python e HTML na *framework*

Esta forma de passar conteúdo para a página HTML também permite a passagem de tabelas de informação que são demonstradas com a ajuda de

funções Python "for" dentro do código HTML, devidamente assinaladas com os indicadores discutidos no ponto anterior (4.3.2.1), permitindo assim a passagem de grandes quantidades de informação de maneira prática e facilitada.

4.3.2.3 Bases de dados

Como já foi referido, todo este projeto está altamente dependente das bases de dados utilizadas, estas bases de dados estão integradas dentro grupos diferentes consoante o tipo de função que têm a desempenhar.

Foram criadas um total de 12 bases de dados para este protótipo funcionar corretamente, algumas já mencionadas e explicadas, a lista que se segue tem a função de enumerar todas as bases de dados (BD) criadas dentro dos seus grupos para facilitar a explicação que se segue.

- BD de serviço ao protótipo (todas foram explicadas no início da secção 4.3);
 - Comandos;
 - Impressões digitais;
 - Identificação RF;
- BD de utilizadores de dispensador;
 - Dados de utilizadores;
 - Rotinas de utilizadores;
- BD de gestão de medicação;
 - Registo de inventário;
 - Registo de mudanças de inventário feitas por gestores;
 - Registo de dispensas feitas ou falhadas;
- BD de vigia de valores sanguíneos e IMC;
 - Registo de análises sanguíneas;
 - Valores de comparação de níveis sanguíneos;
 - Tabela auxiliar de comparação;
 - Registo de valores de peso e altura para vigia de IMC;

Dados e rotina de utilizadores

Estas duas tabelas estão destinadas a guardar dados dos gestores e utentes do dispensador. A tabela de dados de utilizador tem 15 colunas diferentes que guardam informação como nome, data de nascimento, sexo, se é utilizador ou gestor, *e-mail* (se gestor), 3 identificações (nº de id, impressão digital e/ou RFID), 4 colunas de horários de dosagem e 3 de auxílio à criação das páginas WEB. A tabela responsável pelas rotinas do utilizador guarda informação sobre quantos medicamentos de cada compartimento um determinado utilizador necessita por dose diária, já tendo sido mencionada na secção 4.3.1.3.

Dados de gestão de medicação

Estas 3 tabelas estão destinadas à gestão de medicamentos do dispensador, a primeira guarda apenas o nome de cada medicamento e da quantidade disponível em cada um dos compartimentos. A segunda tabela guarda as movimentações de inventário feitas pelos gestores do sistema, dispõe de 8 colunas, nº de identificação da movimentação, nome do medicamento movimentado, tipo de movimentação (introdução, adição ou retirada de comprimidos), quantidade de comprimidos movimentados, gestor responsável e data e hora da movimentação. A terceira tabela, que guarda as movimentações realizadas ou não pelas dispensas do protótipo já foi explicada na secção 4.3.1.3.

Dados de vigia de valores sanguíneos e IMC

Foi pensado implementar um sistema de vigia de valores sanguíneos e de IMC (peso e altura), para isto foram implementadas 4 tabelas. Referir também que os parâmetros de valores sanguíneos foram pesquisados em várias páginas web e comparados com algumas análises a que se teve acesso, escolhendo por utilizar os parâmetros e valores encontrados no site da Medicare [88], onde não só nomeia todos os valores medidos assim como os limites saudáveis para homens e mulheres.

A primeira guarda os valores introduzidos pelos gestores para cada utilizador, contém 18 colunas, uma com o identificador do utilizador a que os valores correspondem, uma que guarda o dia em que os valores foram introduzidos, as restantes são para os parâmetros existentes nas análises sanguíneas.

A segunda tabela guarda os limites mínimos e máximos para homens e mulheres, permitindo a comparação com os valores introduzidos pelo gestor, esta tabela tem 4 entradas, máximos e mínimos para mulheres e para homens. A terceira tabela é uma tabela temporária que guardará os valores que estão fora dos limites quando se entra na página de um utilizador, permitindo gerar na página WEB os valores que estão fora do normal.

A quarta tabela permite guardar as medidas de peso e altura de cada utilizador, calculando o IMC e permitindo avisar quando estes valores estão em níveis fora do saudável. A tabela contém 5 colunas, a de identificação de utilizador correspondente às medidas, dia das medições, peso, altura e IMC. O cálculo do IMC é feito ao se introduzir os valores de peso e altura seguindo a equação $IMC = peso / (Altura^2)$, podendo se efetuar uma comparação com os valores de referência encontrados em várias fontes, sendo uma destas o site TuaSaúde [89], estas classificações são indicadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Classificação de Índice de massa corporal

IMC (kg/m^2)	Classificação
Menor que 18,5	Baixo Peso
18,5 a 24,9	Peso Ideal
25 a 29,9	Acima do peso
30 a 34,9	Obesidade grau 1
35 a 39,9	Obesidade grau 2
Maior que 40	Obesidade grau 3

Todas estas tabelas foram criadas na *framework* Django, formando as classes, efetuando as migrações para as bases de dados, que posteriormente serão alojadas no servidor Apache alojado no programa XAMPP, como foi referido. A Figura 4.24 demonstra o excerto de código onde a ultima tabela explicada foi criada na *framework* Django, código implementado no ficheiro "models.py" da aplicação de registos de utilizadores.

```
class Medicoes(models.Model):
    Nomeid = models.IntegerField(default=0)
    Dia = models.DateField(auto_now=False, auto_now_add=True)
    Peso = models.DecimalField(null=True, blank=True, max_digits=6, decimal_places=3)
    Altura = models.DecimalField(null=True, blank=True, max_digits=3, decimal_places=2)
    IMC = models.DecimalField(null=True, blank=True, max_digits=10, decimal_places=2)
```

Figura 4.24: Excerto de código da criação de tabelas de ases de dados

Todas estas capacidades da *framework* Django serão utilizadas no desenvolvimento da interface programável WEB do protótipo, todas as suas funções terão os princípios fundamentais acima descritos e as interações entre as mesmas. Capacitando a criação de uma interface intuitiva e básica para o utilizador para gerir e controlar o protótipo.

4.4 Desenvolvimento Físico do protótipo

Para que o dispensador possa ser testado, terá de ser pensado nas capacidades físicas do mesmo, nesta secção serão explicadas as decisões tomadas no planeamento inicial e desenho das partes do projeto que serão imprimidas e montadas para finalizar o dispensador.

4.4.1 Sistema de dispensa

Começando pela parte mais importante do sistema, a dispensa dos medicamentos, esta parte do projeto terá de ser bem planeada para que todo o funcionamento do dispensador não seja comprometido.

Em primeiro lugar foi pensado utilizar um mecanismo como o Parafuso de Arquimedes, esquematizado na Figura 4.25, inicialmente inventado para transportar água. Seria uma maneira prática e universal de obter comprimidos de um compartimento grande. Porém, este plano foi abandonado rapidamente por ser difícil garantir que, no fim de cada rotação efetuada, só um comprimido seja dispensado pelo parafuso, sendo também possível que nenhum chegue ao destino.

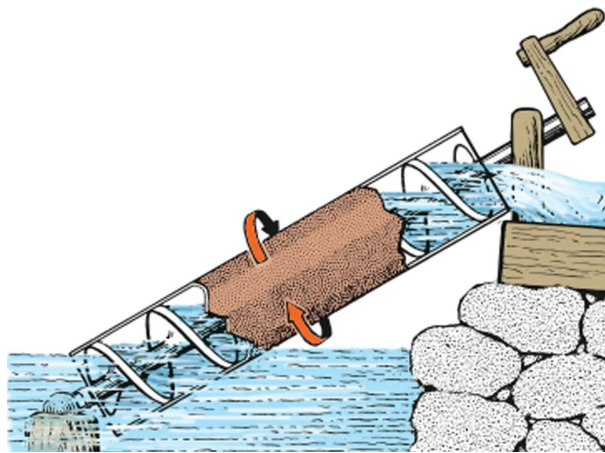


Figura 4.25: Parafuso de Arquimedes [90]

A segunda tentativa para criar um mecanismo de dispensa seria inspirado nos dispensadores de pastilhas elásticas mais antigas, o mecanismo relevante das mesmas é o disco que gira quando uma moeda é introduzida, dispensando uma pastilha que já está guardada e abrindo espaço para uma pastilha nova entrar noutro espaço de dispensa, como se pode verificar na Figura 4.26.

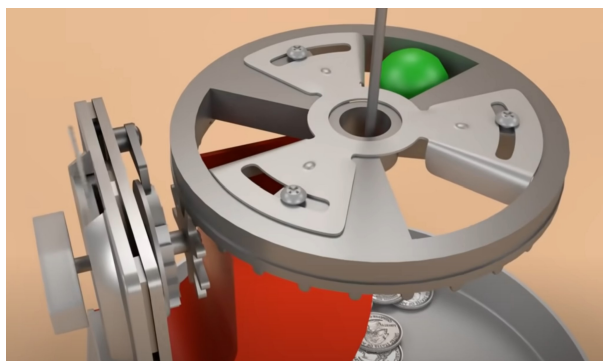


Figura 4.26: Mecanismo de dispensa de pastilhas elásticas [?]

Porém, durante a fase de desenho de partes, foi encontrado outro percalço, os medicamentos teriam de ter todos as mesmas dimensões, fazendo com que diferentes compartimentos tivessem de ser modelados condicionalmente pelo comprimido que iriam dispensar.

Finalmente ficou decidido que se iria usar o pensamento deste último mecanismo, mas fazer com que os comprimidos não fossem armazenados num só espaço, mas em espaços individuais dentro do disco giratório. Foi também pensado que se poderia ter a opção de escalar a capacidade dos compartimentos, fazendo discos giratórios alimentarem o disco giratório inferior.

Disco Giratório

Em primeiro lugar é necessário efetuar a modelação do disco giratório do dispensador, para isto foi utilizado o comprimido maior a que se teve acesso, o Diplexil, fotografado na Figura 4.27, podendo assim dimensionar os compartimentos do disco giratório com o pressuposto que grande parte dos comprimidos existentes poderia ser dispensado pelo protótipo.



Figura 4.27: Dimensões comprimido Diplexil

Foi necessário decidir quantos comprimidos cada disco iria transportar. Contando que o tamanho do disco seria um fator importante no desenvolvimento físico deste dispensador, que não só teria de caber na impressora 3D disponível como teria de ter um tamanho prático para utilização e de ter capacidade para um número prático de comprimidos.

Como os motores que vão estar responsáveis pela rotação dos discos têm um total de 2048 passos por rotação completa, foi concluído que para obter uma rotação satisfatória os passos totais teriam de ser divisíveis pelo número de compartimentos, fazendo com que todos os espaços fossem de tamanho igual e que não iriam provocar o desfasamento do disco depois de várias rotações se não fosse repetidamente ajustado. Por exemplo, um disco com 10 compartimentos, iria requerer 204,8 passos do motor para cada dispensa, isto iria impor que todas as dispensas utilizassem 204 passos para dispensar e a cada 10 dispensas teria de existir uma rotação de 212 passos para repor o desfasamento.

Com este particular desafio em mente foi pensado que cada disco deveria ter uma capacidade que fosse uma potência de 2. Os valores inicialmente pensados foram de 8, 16, 32 ou 64, por corresponderem aproximadamente a períodos de tempo do calendário se apenas um comprimido fosse dispensado por dia (uma semana, uma quinzena, um mês e dois meses respetivamente).

Começando pelo espaço individual para cada comprimido, foi desenhado um espaço com tolerância para que o comprimido maior não tenha hipótese de ficar preso ao se movimentar o disco. Para complementar esta tarefa, as medidas exatas do comprimido foram utilizadas para desenhar a planta para cada compartimento, assegurando o ângulo que cada compartimento ocupa no disco para as diferentes hipóteses e dimensionado o diâmetro do disco para que o comprimido consiga ser transportado. Ao efetuar as várias plantas os resultados das dimensões do disco podem ser verificadas na Figura 4.28.

Como se pode verificar só foi efetuado os 3 primeiros planeamentos devido à verificação de que um disco para 32 comprimidos seria algo pouco prático na construção do protótipo devido às dimensões totais do mesmo, sendo desnecessário planear para um disco com 64 espaços. Na comparação dos outros 2 desenhos a diferença entre diâmetros é muito pequena e portanto o número de espaços pode ser o maior possível dentro destes, sendo que ficou decidido a modelação de um disco rotativo com 16 espaços para comprimidos.

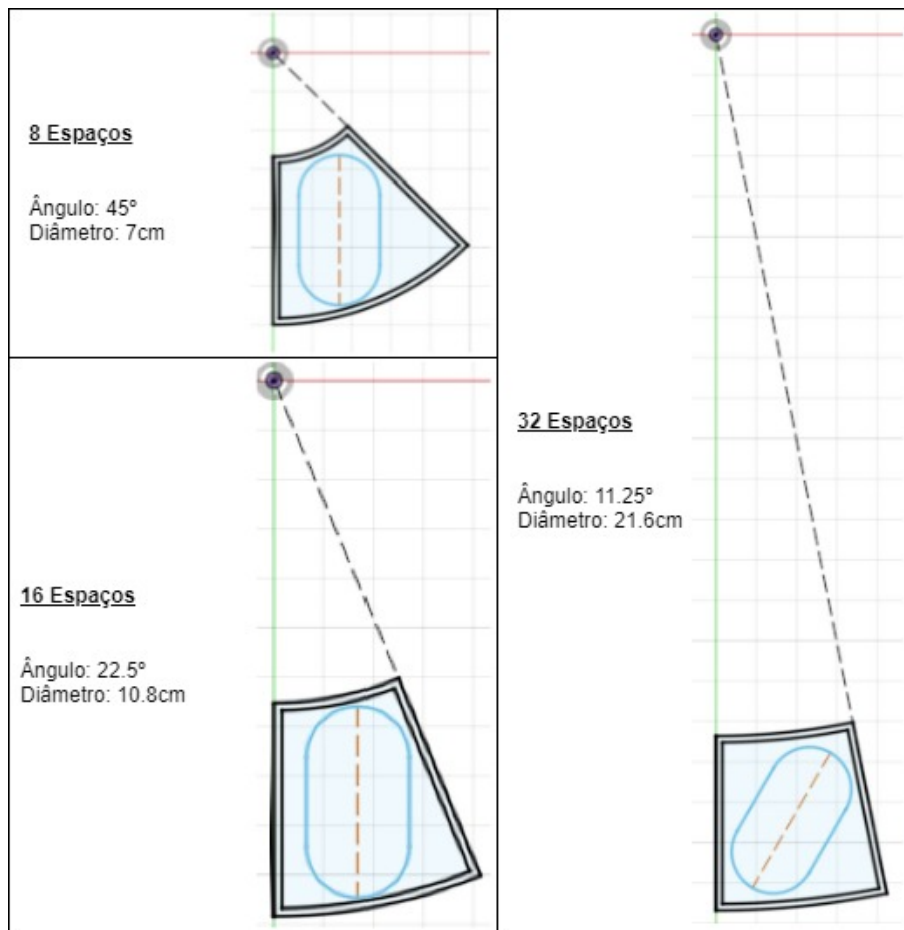


Figura 4.28: Dimensionamento do espaço individual e verificação de dimensões do disco

Como se pretende que cada coluna de compartimentos seja expansível, o veio que vai estar ligado ao motor e que faz rodar o disco vai ser modelado separadamente para que seja possível acrescentar mais discos à montagem. Com as decisões tomadas e desenhadas o resultado da modelação do disco giratório resultou na representação da Figura 4.29.

O buraco central do disco será onde o veio vai ser introduzido e os 4 espaços interiores têm a função de poupar plástico quando este componente for imprimido. Para complementar este componente foi projetado um veio que encaixa no motor e faz o disco rodar, também com o pensamento de ser expansível, foi modelado um encaixe na outra extremidade com as mesmas dimensões do encaixe do motor, resultando no modelo representado na Figura 4.30.

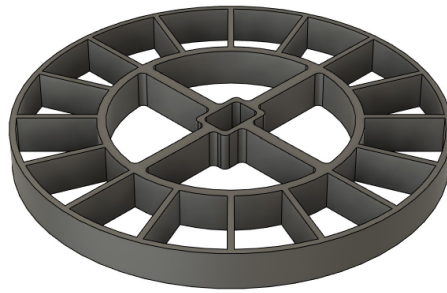


Figura 4.29: Modelação do disco giratório

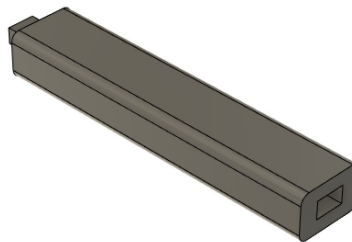


Figura 4.30: Modelação do veio

Base para disco giratório

Com as partes que se vão movimentar modeladas falta a base que não vai permitir que todos os comprimidos do disco caiam e que possua um espaço com caminho livre para que o comprimido a ser dispensado caia do disco. Com esta finalidade foi utilizado o desenho do espaço escolhido na Figura 4.28 para fazer uma abertura numa base quadrada de tamanho adequado para ser possível pousar o disco rotativo. Para que a coluna seja expansível foram implementados em cada canto um buraco para que uma estrutura de suporte possa segurar na base e esta não rodar juntamente com o disco. O primeiro modelo projetado foi o da Figura 4.31.

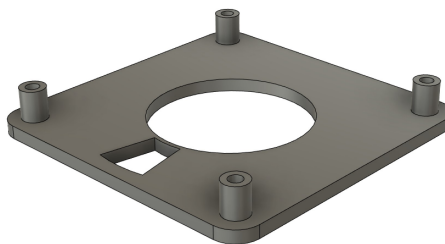


Figura 4.31: Modelação da base para disco rotativo (1ª iteração)

Porém, depois de finalizado e pensando na expansibilidade de cada coluna de comprimidos reparou-se que tal *design* não era o melhor, pois a cada nível de expansão, o buraco da base teria de ser desfasado em $12,5^\circ$, para que um

comprimido do segundo disco passe para o primeiro e não tenha queda direta para a saída do sistema. Para que não fosse necessário fazer a modelação de diferentes bases consoante os graus de defasamento teria de ser modelado outro *design* para a base.

O modelo que foi pensado de seguida foi um conjunto de 2 partes, 1 base fixa com os 4 suportes em cada canto, que dão estabilidade ao sistema, e uma parte amovível que pode ser encaixada em diferentes posições antes do disco giratório ser instalado, o conjunto pode ser visto na Figura 4.32. Permitindo assim ter a expansibilidade pretendida sem ter de ser utilizados diferentes tipos de base para cada coluna de comprimidos.

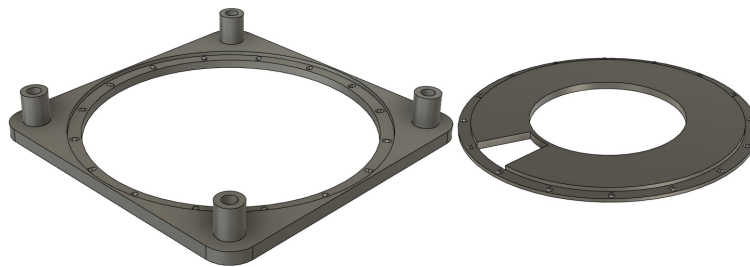


Figura 4.32: Modelação da base para disco rotativo (2ª iteração)

Ambas as partes estão conectadas por pequenos encaixes, demonstrados na Figura 4.33, que asseguram que o buraco se alinha com as bases anteriores e que segura a parte amovível no lugar mesmo quando o disco giratório está em movimento.

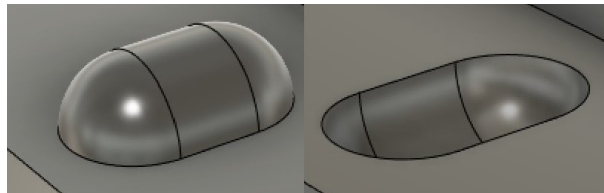


Figura 4.33: Detalhe dos encaixes da base

4.4.2 Base

Seguindo no projeto físico do dispensador, e com a parte mais importante já modelada, foi decidido que este sistema teria de ter uma base fixa e rígida para que não existissem possibilidades de queda das torres de comprimidos.

Com o dispensador a necessitar de gravidade para efetuar as dispensas rapidamente se definiu que as torres de comprimidos teria de estar num nível superior ao da recolha dos comprimidos por parte dos utentes.

Utilizando as dimensões definidas no *design* do sistema de dispensa, efetuou-se o esquema das dimensões e detalhes que a base de todo o sistema

teria de ter para assegurar todas as suas funções. Foi decidido que as 6 torres de comprimidos iriam estar em circulo para que todas as dispensas fossem projetadas para o meio da plataforma, tendo esta tem um furo por onde os comprimidos iriam passar e ser conduzidos a uma base de recolha que estaria posicionada abaixo destas. Com isto em mente o esquema da Figura 4.34 mostra a disposição das torres que se pensou ser a melhor para este projeto.

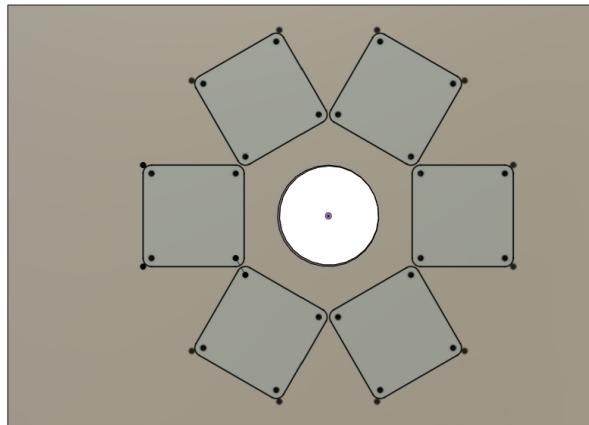


Figura 4.34: Disposição das torres de comprimidos na base

Cada quadrado definido na figura com um tom azulado será onde as torres de comprimidos estarão posicionadas, cada um destes terá 4 pequenos buracos onde serão instaladas hastes de ferro para estabilizar as torres, ficando fixadas à plataforma. Sendo os comprimidos conduzidos ao buraco central e ara que a recolha aconteça por baixo desta plataforma esta terá de ser elevada com pernas, sendo as dimensões finais que se pretende de 70 cm de comprimento 50 cm de largura e 36 cm de altura, o esquemada plataforma pode ser visto na Figura 4.35.

Também é de referir que o buraco central não está centrado ao comprimento da plataforma, com o objetivo de deixar algum espaço na traseira do dispensador para fixar os circuitos criados existindo assim fácil acesso a estes durante o desenvolvimento do protótipo.



Figura 4.35: Representação total da plataforma do dispositivo

4.4.3 Sistema de abertura

O protótipo desejado terá de ter uma funcionalidade de segurança, como um sistema que só permita ao responsável do sistema ter acesso aos compartimentos de armazenamento. Para isso foi desenvolvido um conceito de fecho dos compartimentos, para que a existência das tampas não seja impeditiva ao trabalho no próprio protótipo.

Como a impressora 3D não tem área de impressão suficiente para construir como uma peça única foram desenvolvidas uma tampa para cada "torre de comprimidos", juntamente com um método de conectar as mesmas. As tampas (cinza) e sistema de conexão (azul) estão representados na Figura 4.36 (apenas estão representadas duas tampas e uma conexão).

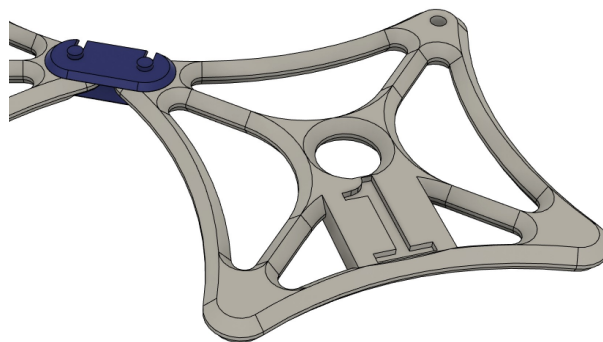


Figura 4.36: Tampas e conexão do sistema de abertura

Para que exista a atuação do protótipo a estas tampas, e utilizando mais um motor de passo, foi necessário criar uma estrutura que suporte este motor ao nível das tampas. O motor vai estar ligado ao centro de uma trave da Figura

4.37 que numa extremidade encaixe na tampa do sistema e na outra extremidade permita pendurar contrapesos se estes forem necessários.

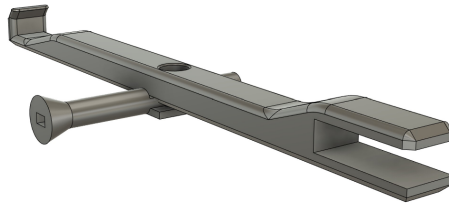


Figura 4.37: Trave atuada pelo motor de abertura

Nesta figura a extremidade da direita será a encaixada à tampa, a da esquerda estará disponível para receber alguns contrapesos se necessário.

Se o sistema que conecta as tampas não funcionar como esperado estas vão ser mantidas desconectadas e a atuação de abertura apenas atuará numa das tampas, ficando assim o conceito de abertura demonstrado no sistema.

4.4.4 Partes complementares

As partes complementares que terão de ser desenhadas para este dispositivo têm diferentes propósitos. Algumas das quais são de proteção aos circuitos e componentes do sistema e outras serão complementares ao sistema de dispensa.

Como exemplo de proteção de circuitos eletrónicos está a Figura 4.38, que representa um encaixe para a placa Arduino, de maneira a se poder fixar na plataforma sem correr o risco de danificar a mesma.

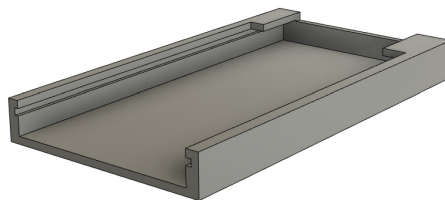


Figura 4.38: Caixa protetora com encaixe para placa Arduino

Todos os diferentes circuitos e componentes serão protegidos por "caixas" similares.

Para complementar o sistema de dispensa estão partes que terão de conduzir os comprimidos desde as "torres" até à caixa de recolha. Em primeiro lugar está um conjunto partes que deslocam o comprimido do sistema de dispensa até ao centro da plataforma. Na Figura 4.39 está identificado a amarelo a parte que projeta o comprimido para fora do sistema de dispensa juntamente com o suporte para o motor de passos, a verde está uma rampa complementar que

assegura a entrega do comprimido ao destino na plataforma e a vermelho estão representados espaçadores que darão altura a todo o sistema de dispensa.

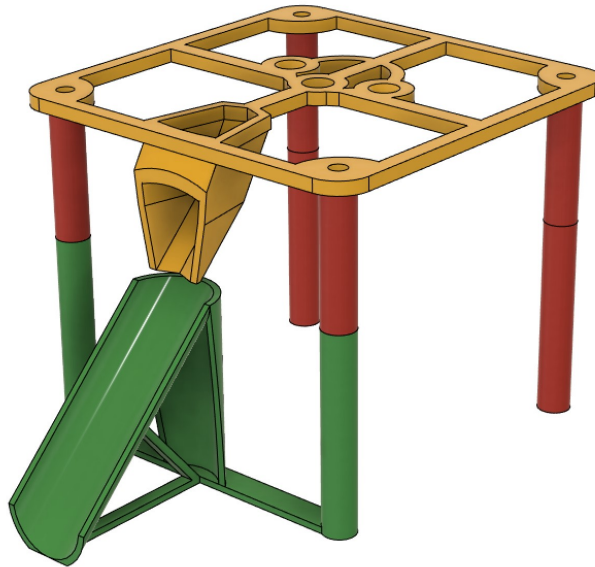


Figura 4.39: Suporte do motor para o sistema de dispensa

No centro das "torres" de dispensa estará um buraco que deixará os comprimidos passar para a parte inferior da plataforma, porém se estes não forem contidos no espaço teriam uma trajetória imprevisível, com isto em mente foi modelado um funil, exposto na Figura 4.40 que controlará o destino dos comprimidos e que terá um encaixe onde se pode fixar um cano que conduzirá os comprimidos à caixa de recolha.

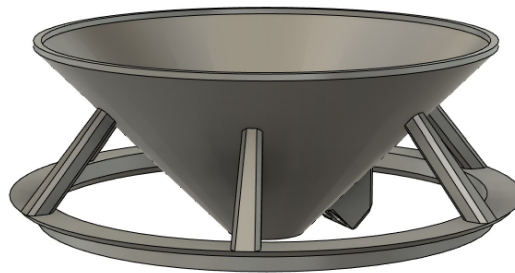


Figura 4.40: Funil da plataforma do dispensador

Com os comprimidos a terem um destino mais controlado dentro do tubo foi modelada a caixa de recolha dos mesmos. Este componente terá como tarefa recolher os comprimidos até que o utente os recolha, para isso tem de travar os mesmos e garantir que estes não "saltam" para fora do dispensador. Na Figura 4.41 podemos verificar a vermelho a zona que assegura que os comprimidos vão

"repousar" dentro da área de recolha (a verde), as traves marcadas a amarelo serão os encaixes fixados na parte inferior da plataforma do dispensador.

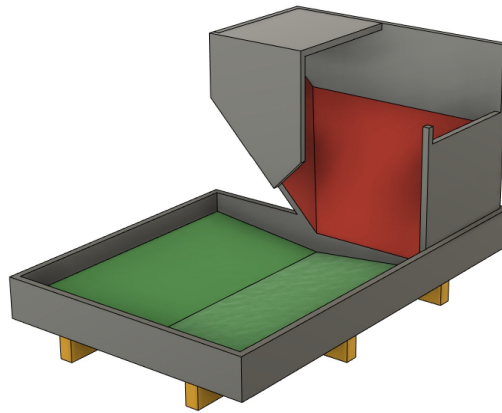


Figura 4.41: Caixa de recolha dos comprimidos

Com todas as partes pensadas e modeladas, e os códigos de controlo do dispensador desenvolvidos segue a apresentação dos resultados do desenvolvimento deste projeto.

Capítulo 5

Testes e Discussão de resultados

Nesta secção vai ser mostrado, em primeiro lugar, os resultados dos vários testes que se realizaram ao dispensador desenvolvido, seguido do aspeto final da interface WEB criada e finalizando com o resultado da impressão e montagem das partes físicas do projeto.

Para dar o ponto de vista do utilizador, o diagrama da Figura 5.1 demonstra, de maneira simbólica, os sistemas que o utilizador vai encontrar quando estiver perante o dispensador e as ligações que existem entre si.

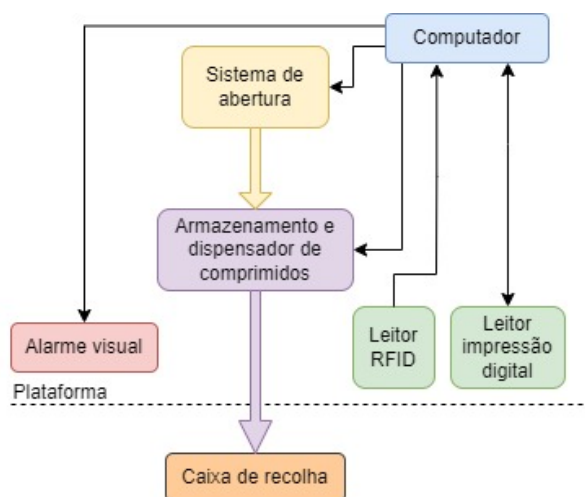


Figura 5.1: Diagrama funcional do dispensador

O utilizador ao ver o alarme visual ativado sabe que existe uma dispensa disponível para retirar, para efetuar o pedido da dispensa tem de fazer a leitura da sua impressão digital. Se esta corresponder à identificação da dispensa que

está disponível o dispensador inicia o processo mecânico, que irá pôr à disposição os comprimidos corretos na caixa de recolha.

No ponto de vista de um responsável do sistema, ao querer efetuar alterações no armazenamento de comprimidos, em primeiro lugar terá de o indicar na interface WEB que o quer fazer, seguido da verificação de identificação, através da leitura da *tag* RFID no leitor seguida da leitura da impressão digital. Se ambas estiverem a identificar o mesmo responsável o sistema de abertura inicia o processo mecânico de abrir a tampa dos compartimentos.

No diagrama, a linha a tracejado demonstra o que estará acima e abaixo da plataforma de madeira montada para o dispensador, as setas a preto demonstram a ligação de informação que existe entre os sistemas visíveis no dispensador. As setas coloridas demonstram as ligações mecânica, sendo a seta amarela a influência que o sistema de abertura tem sobre o armazenamento de comprimidos e a seta roxa a ligação física que existe entre o armazenamento e a caixa de recolha do dispensador.

Uma fotografia do dispensador vai ser mostrada mais à frente no relatório quando o resultado físico do dispensador for discutido na Figura 5.33.

5.1 Funcionamento do dispensador

Esta secção demonstra os resultados dos testes efetuados ao conjunto de microcontrolador e *script* Python responsável por comandar o funcionamento do dispensador.

Dos seis vetores de testes sugeridos na secção 3.4, três serão demonstrados nesta parte do relatórios e os três restantes na secção seguinte. Os testes demonstrados primeiro são as corretas leituras dos leitores utilizados, o funcionamento dos dois controlos de acesso em simultâneo no mesmo microcontrolador e a correta dispensa de comprimidos.

5.1.1 Leitura correta dos controlos de acesso

Este teste permite concluir a confiança que os leitores escolhidos tem para efetuar a sua função, o leitor de impressão digital foi testado fazendo 5 leituras em cada dedo de uma mão, podendo assim verificar os níveis de confiança para cada dedo.

A biblioteca que foi utilizada com este sensor fornece níveis de confiança para cada leitura, sendo que quanto maior for o número mostrado maior é a confiança. Não foi possível verificar os limites máximos deste parâmetro, porém durante o desenvolvimento e teste do dispensador nunca foi atingido um valor

superior a 300 unidades. A leitura da impressão digital no sensor resulta numa mensagem mostrada na consola do computador com o aspeto da Figura 5.2.

```
Image taken
Image converted
Found a print match!
Found ID #1. with confidence of 194
```

Figura 5.2: Resultado leitura de impressão digital

A Tabela 5.1 demonstra os níveis de confiança obtidos em 5 leituras de cada dedo, para garantir alguma aleatoriedade no teste, um dedo nunca foi testado duas vezes seguidas.

Tabela 5.1: Teste sensor de impressões digitais

Dedo	Polegar	Indicador	Médio	Anelar	Míndinho
N.c.* 1ª leitura	145	166	151	123	X**
N.c.* 2ª leitura	112	146	194	148	174
N.c.* 3ª leitura	247	104	128	172	X**
N.c.* 4ª leitura	148	106	121	107	118
N.c.* 5ª leitura	209	172	210	X**	91
Média de N.c.	172.2	138.8	160.8	110	76.6

* - Nível de confiança

** - Leitura incorreta

Este teste permitiu não só verificar que o leitor consegue identificar as diferentes impressões digitais assim como permite concluir que o dedo mais indicado para a identificação é o polegar e o menos indicado é o mindinho.

De seguida foi feito o teste ao leitor de RFID, onde se fez algumas leituras seguidas de diferentes *tags* disponíveis, o resultado da leitura na consola do computador é o da Figura 5.3.

```
Scanning RFID:
RFID:C9953963
Scanning RFID:
RFID:C97E9A29
```

Figura 5.3: Resultado leitura de *tag* RFID

Neste teste foram feitas 10 leituras com várias *tags* RFID em que o seu identificador de série era conhecido posteriormente, todas as leituras foram efetuadas de forma correta sem existir qualquer falha nas mesmas.

Com estes testes foi possível concluir que os sensores escolhidos foram os corretos, permitindo ao dispositivo uma identificação individual do utilizador através da impressão digital e um identificador secundário para os responsáveis do dispensador poderem aceder ao armazenamento de comprimidos.

5.1.2 Funcionamento em simultâneo no mesmo microcontrolador

Foi necessário verificar se existiria conflito entre os dois leitores se ambos estivessem conectados ao mesmo microcontrolador, para verificar a compatibilidade foi efetuada uma leitura de uma *tag* RFID seguida de uma leitura de uma impressão digital. Se ambas forem efetuadas corretamente sem existir interferência nos resultados, o projeto poderia ser desenvolvido apenas com a utilização de um microcontrolador. A Figura 5.4 demonstra o resultado na consola do computador do teste efetuado.

```
Scanning RFID:  
  
RFID:C97E9A29  
Image taken  
Image converted  
Found a print match!  
Found ID #6. with confidence of 186
```

Figura 5.4: Resultado leitura de ambos controlos de acesso

O funcionamento correto dos dois leitores de forma sucessiva permitiu concluir que ambos poderiam ser utilizados com o mesmo microcontrolador, permitindo a continuação do desenvolvimento do dispensador sem necessitar de microcontroladores extra.

5.1.3 Dispensas corretas do dispensador

Este teste foi realizado ao longo de um dia de funcionamento do dispensador, permite não só testar o sistema de dispensa mas também a capacidade do dispensador detetar que dosagens são esperadas para cada horário. Neste teste foi programado um utilizador com as doses seguintes (cada numero é a quantidade de cada comprimido):

- Acordar: 999999

• Almoço: 000000.
Estas dosagens permitem testar uma dosagem com o máximo de atuação nos motores e uma dosagem sem comprimidos a dispensar. A Figura 5.5

demonstra a mensagem na consola do computador de quando uma dosagem está disponível e da entrada que fica gravada na base de dados.

```

Consola:
10:00:00
999999
('Helena Pinto', 'Acordar', '10:00:00', '2', '999999', '11:00:00', '6', 0, 0)
Base de dados:


|              |         |                        |
|--------------|---------|------------------------|
| Helena Pinto | Acordar | Ainda Não Foi Retirada |
|--------------|---------|------------------------|


```

Figura 5.5: Mensagem na consola da dosagem disponível e apresentação na base de dados

A mensagem na consola do computador inicia com a hora a que a adição da dosagem é feita ao sistema seguido da quantidade de comprimidos esperados de cada compartimento, finalizando com uma estrutura de dados que vai ser introduzida na base de dados, onde especifica, o nome, a dose, a hora da dosagem, o identificador do utilizador, a hora da validade da dosagem, o identificador da impressão digital e dois valores booleanos que ajudam no funcionamento do dispensador.

Quando existe o pedido da dispensa desta dosagem pelo utilizador a mensagem em consola segue o padrão da Figura 5.6.

```

Found ID #6. with confidence of 157
((94, '999999', 'Helena Pinto', 'Acordar'),)
999999
A ler 0
Começar Output
9
9
9
10:09:00
9
9
9
EndOut

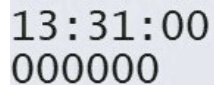
```

Figura 5.6: Mensagem na consola da dispensa da dosagem disponível

Iniciando com a identificação do utilizador que pediu a dispensa e a apresentação da dosagem disponível para esse utente, a linha com "999999" é a mensagem enviada para o microcontrolador. As mensagens seguintes são as enviadas pelo microcontrolador, cada mensagem com um "9" significa que o dispensador finalizou a dispensa de um compartimento. A mensagem com a

hora "10:09:00" é a prova que o *script* Python continua em execução mesmo durante uma dispensa de medicamentos, evitando que alguma dosagem seja ignorada enquanto uma dispensa está em execução.

Contrariando o exemplo anterior a Figura 5.7 mostra a mensagem mostrada na consola para quando um horário de dispensa é atingido mas o utente não tem comprimidos a tomar.



```
13:31:00  
000000
```

Figura 5.7: Mensagem na consola quando a dispensa não é necessária

Assim como no exemplo anterior inicia por mostrar a hora da dosagem esperada, seguido do número de comprimidos a dispensar, como todos os compartimentos esperam zero dispensas a dosagem é ignorada.

Durante o desenvolvimento do dispensador todas as vezes que se pediu uma dispensa com a mesma disponível a dispensar nunca existiu um erro de quantidades dispensadas, elevando o grau de confiança do protótipo desenvolvido.

5.2 Interface WEB

Nesta secção serão demonstrados os resultados dos restantes vetores de teste pensados anteriormente, efetuados sobre a interface WEB que foi criada, sendo estes testes a comparação dos acessos com as bases de dados, a comunicação da interface WEB com o dispensador e a apresentação de dados.

5.2.1 Comparação dos acessos realizados com as bases de dados e comunicação Interface-Dispensador

Para existir a comparação dos controlos de acesso com os dados das bases de dados é necessário que o mesmo utilizador seja conectado com diferentes identificadores do controlo de acesso. Para testar se esta comparação é efetuada, foi testado se o sistema de abertura do dispensador poderia ser ativado com uma verificação de 2 passos, utilizando a *tag* RFID e a impressão digital.

Com um responsável identificado, a sua *tag* RFID deve pedir em seguida o identificador da sua impressão digital, e só abrir o sistema se ambas corresponderem ao mesmo utilizador, o que permite testar a comunicação da Interface para o Dispensador através da base de dados de comandos que foi criada.

A Figura 5.8 a) mostra a consola que está responsável pela comunicação entre o dispensador e o computador e a Figura 5.8 b) a consola responsável pela interface WEB, as mensagens aparecem quando é pedido pelo utilizador para abrir os compartimentos do dispensador, começando por pedir a *tag* RFID.

Depois da leitura da RFID, a consola da interface fica à espera pela leitura correta do identificador da impressão digital (nº 1 neste caso), depois da leitura correta assinalada com a mensagem "chegou" envia o comando para o dispensador para abrir os compartimentos (comando "L").

```
A ler S
Scanning RFID:
RFID:C97E9A29
19:57:00
A ler V
Verificar FP
Image taken
Image converted
Found a print match!
A Verificar #1.
A ler L
Abriu
```

a)

```
A procura da FP # 1
À espera de FP:
chegou
```

b)

Figura 5.8: a) Consola de interação com o protótipo - b) Consola da interface WEB (caso de identificação correta)

No caso de existir uma leitura de outra impressão digital que não a esperada, a consola da interface WEB na Figura 5.8 b) indica que a impressão lida foi a incorreta e a consola de interação com o protótipo ignora o resto do processo, não enviando mais comandos como é visível na Figura 5.8 a) e mantendo o dispensador fechado.

Com o funcionamento correto deste sistema foi possível verificar que a comparação dos sistemas de controlos de acessos e das bases de dados estavam bem sincronizados, assim como se confirmou que a interface WEB pode enviar comandos para o dispensador utilizando a base de dados que foi criada para o efeito.

```
19:58:00
A ler S
Scanning RFID:
RFID:C97E9A29
A ler V
Verificar FP
Image taken
Image converted
Found a print match!
A Verificar #6.
a)
```

```
À procura da FP # 1
À espera de FP:
Impressão digital errada!!!
b)
```

Figura 5.9: a) Consola de interação com o protótipo - b) Consola da interface WEB (caso de identificação errada)

5.2.2 Apresentação de dados do dispensador e utilizadores

Nesta secção será apresentado o aspeto final da interface WEB do dispensador, as páginas de programação do mesmo e das funcionalidades extra que foram incluídas aquando do desenvolvimento do projeto. Todas as páginas WEB criadas têm como cabeçalho uma barra de hiperligações, apresentada na Figura 5.10, comuns que permitem aceder a diferentes tipos de informação e gestão do dispensador.

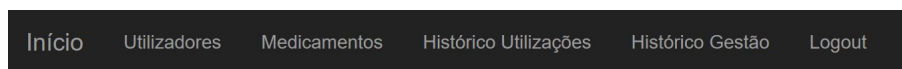


Figura 5.10: Barra de hiperligações da interface WEB

A barra dispõe de seis botões que permitem ao utilizador verificar e gerir o dispensador e os seus utilizadores de variadas maneiras.

5.2.2.1 Visualização e gestão de utilizadores

Começando pelo botão "Utilizadores", que permite a gestão dos utilizadores do dispensador. A Figura 5.11 apresenta a página mostrada nesta ligação.

Esta tabela permite ao utilizador saber várias informações sobre os utilizadores do dispensador, como o nome, se é utente ou responsável do sistema e horários de dosagem mas também permite fazer a gestão dos acessos e rotinas.

Nome	Função	Rotina	RFID	ID Impressão Digital	Hora Levantar	Hora Almoçar	Hora Jantar	Hora Deitar	Editar/Apagar
Pedro Cerqueira	Responsável		C97E9A29	1	10:20	14:00	21:30	00:51	
Helena Pinto	Utente		Não permitido	6	10:00	13:45	21:00	00:51	
Silvina Maria	Utente		Não permitido	3	09:40	13:30	21:00	00:51	
Mário Cerqueira	Utente		Não permitido	2	07:45	14:02	21:00	00:37	
Diogo Coelho	Responsável				10:00	13:00	21:00	01:00	

[Novo Registo](#)

Figura 5.11: Tabela de gestão de utilizadores

A coluna "RFID" permite verificar qual o identificador RF de cada responsável, como os utentes não necessitam estão marcados com o "Não permitido", já o símbolo do cartão, na ultima linha, significa que este responsável ainda não tem um identificador atribuído. Clicar no botão irá enviar o comando de leitura de RFID para o dispensador, permitindo assim definir o mesmo para esse responsável.

"ID Impressão Digital" permite ao responsável verificar se os utilizadores já têm identificadores de impressão digital inscritos no sistema, sendo o número atribuído automaticamente quando se carrega no botão com o símbolo do dedo, na ultima linha. Quando se pretende introduzir um identificador novo no sistema é enviado o comando para o dispensador para iniciar uma inscrição de impressão digital, o resultado na consola do *script* Python é demonstrado na Figura 5.12.

```
A ler E
Ready to enroll a fingerprint!
Please type in the ID # (from 1 to 127) you want to save this finger as...
Enrolling ID #3
waiting for valid finger to enroll as #3

Image taken
Image converted
Remove finger
ID 3
Place same finger again
.....Image taken
Image converted
Creating model for #3
```

Figura 5.12: Mensagens de consola ao adicionar uma impressão digital

O comando "E" é enviado para o dispensador que inicia o processo, sendo necessário duas leituras consecutivas do mesmo dedo para que a inscrição seja bem sucedida, o exemplo acima é a inscrição do utente "Silvina Maria".

Na mesma coluna da Figura 5.11 existe também o botão com o símbolo do caixote do lixo, que permite ao sistema apagar o identificador para esse utilizador, para quando existe algum erro de leitura persistente de um determinado utilizador, deixando reiniciar o processo de identificação do mesmo. A Figura 5.13 mostra as mensagens da consola quando o comando de apagar a identificação é iniciada, sendo necessário enviar o número do identificador a iniciar, este processo é automático.

```
16:44:00
A ler D

Please type in the ID # (from 1 to 127) you want to delete...

16:45:00
Deleting ID #4

Deleted!
```

Figura 5.13: Mensagem de consola ao apagar uma impressão digital

Seguindo a apresentação da tabela, na ultima coluna, tem 2 botões de gestão, o símbolo do papel permite editar as informações do utente, o símbolo do lixo permite apagar esse utilizador do sistema.

Tanto o botão de edição de utilizador como o botão de "Novo Registo" redireciona para uma página com um formulário que permite criar ou alterar instâncias nas base de dados. A *framework* Django já vem equipada com a capacidade de criar páginas WEB de preenchimento de formulários. Neste caso a atuação é sobre a tabela responsável pelos registos de utilizadores, sendo que mais formulários foram utilizados para diferentes ocasiões.

Para criar o formulário necessário foi utilizado a funcionalidade "Create View" que gera os campos necessários para a correta introdução de instâncias numa tabela numa página HTML. Associando a página HTML à "Create View" o formulário é criado com o método POST que quando preenchido corretamente e submetido é adicionado à base de dados correspondente.

A Figura 5.14 demonstra o formulário criado para o caso de adição ou edição dos dados de um utilizador.

Insira dados do novo utilizador (Horas no formato: **:**) :

Nome:
Sex:
Nasci:
Função:
Levantar:
Almoço:
Jantar:
Deitar:
 Please fill out this field.

Figura 5.14: Formulário de registo de utilizadores

Uma das funcionalidades deste método de criação de formulário é a deteção de erros no preenchimento do mesmo, como se pode verificar no último campo da figura anterior. Com os campos preenchidos corretamente resta carregar no botão de "Submeter" e os dados serão introduzidos na tabela correspondente.

Para o caso do registo de um novo responsável é necessário adquirir alguns dados a mais que os restantes utilizadores, além de necessitar do nome, sexo, data de nascimento e horários de possíveis dosagens também precisa de adquirir as informações pedidas no formulário da Figura 5.15.

Registo

Nome de Utilizador:	<input type="text"/>
E-mail:	<input type="text"/>
Password	<input type="text"/>
Confirmação de Password:	<input type="text"/>

Figura 5.15: Formulário de registo extra para responsáveis

O registo extra de responsável, pede o nome de utilizador que vai ser utilizado para efetuar o *Login* na interface WEB, assim como a palavra passe e o *e-mail* que irá receber os avisos definidos.

Continuando a explicação da tabela de utilizadores da Figura 5.11, na coluna "Rotina" o símbolo com o relógio acessa a página com as dosagens de comprimidos desse utilizador para cada horário, com o aspeto da Figura 5.16, sendo que o símbolo "+" significa que esse utilizador não tem qualquer dosagem programada no dispensador.

Mário Cerqueira





Dose	Benuron	Diplecil	Sinvastatina	Cloxam	Olanzapina	Mirtanzapina	Editar
Acordar	0	0	1	0	1	0	
Almoço	0	0	0	0	0	0	
Jantar	1	1	0	0	2	0	
Deitar	0	0	0	1	0	0	

Figura 5.16: Tabela de gestão de rotinas

Dentro desta tabela cada linha representa uma das dosagens, cada coluna tem o nome do comprimido de cada compartimento, sendo a ultima coluna destinada ao botão que permite a edição da rotina respetiva.

5.2.2.2 Página de detalhe de utilizador

Por último, na tabela de gestão de utilizadores está a hiperligação associada ao nome de cada utilizador, que apresenta uma página com os detalhes mais específicos do respetivo, a página tem o aspeto apresentado na Figura 5.17, na figura pode ser difícil ler as tabelas portanto irão ser apresentadas individualmente.

No inicio da página é apresentado o nome, sexo, idade e função do utente na base de dados do dispensador. O resto da página demonstra os vários dados associados a esse utilizador.

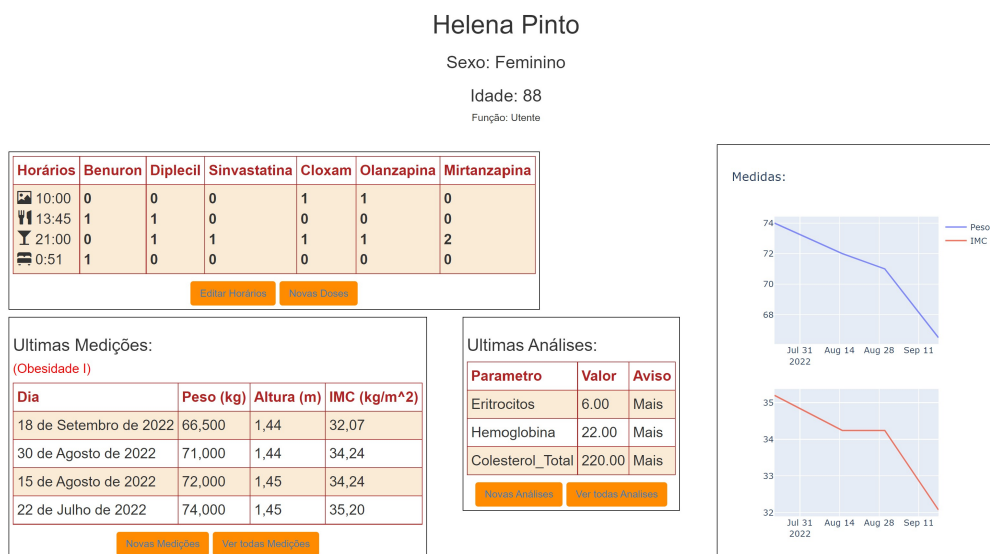


Figura 5.17: Página de detalhes do utilizador

A primeira tabela mostra a rotina de medicação desse usuário assim como a hora das mesmas apresentada na Figura 5.18.

Horários	Benuron	Diplecil	Sinvastatina	Clozam	Olanzapina	Mirtanzapina
🕒 10:00	0	0	0	1	1	0
🍴 13:45	1	1	0	0	0	0
🕒 21:00	0	1	1	1	1	2
🚗 0:51	1	0	0	0	0	0

[Editar Horários](#) [Novas Doses](#)

Figura 5.18: Tabela de rotina de dispensas do utilizador

Os botões permitem alterar os horários das dispensas assim como as dosagens das mesmas, abrindo os formulários responsáveis por efetuar essa tarefa.

A tabela que na Figura 5.17 está no meio da página é responsável por mostrar os valores das análises sanguíneas que estão fora dos valores aconselháveis, segundo os parâmetros referidos na fase de desenvolvimento. Indicando, como mostra a Figura 5.19, o valor do parâmetro referido e se está acima ou abaixo do que é considerado saudável conforme o sexo desse utente nas ultimas análises introduzidas no sistema.

Existe também dois botões, o de "Novas Análises" permite abrir o formulário para adicionar uma nova instância de valores. O botão "Ver todas Análises" permite verificar todas as instâncias introduzidas no sistema como mostra a Figura 5.20.

Ultimas Análises:

Parametro	Valor	Aviso
Eritrocitos	6.00	Mais
Hemoglobina	22.00	Mais
Colesterol_Total	220.00	Mais

Figura 5.19: Tabela de gestão de medicamentos (esquerda - compartimentos fechados / direita - compartimentos abertos)

Helena Pini

Dia	Eritrocitos	Hemoglobina	Leucocitos	Plaquetas	Acido_Urico	Albumina	Colesterol_Total
Aug. 18, 2022	5.10	16.10	7.00	220.00	2.40	4.00	200.00
Oct. 14, 2022	6.00	22.00	8.00	200.00	2.50	5.00	220.00

to

HDL	LDL	Creatinina	Magnesio	Sodio	Potassio	Cloretos	Glicose	PhUrina
60.00	118.00	0.89	1.05	155.00	5.00	108.00	104.00	7.0
62.00	120.00	None	None	None	None	None	96.00	6.5

Figura 5.20: Tabela de todas as análises determinado utente (imagem editada para ser possível ler o conteúdo)

A ultima tabela a explicar é a tabela que mostra as ultimas quatro medições de peso e altura, assim como o IMC calculado para as mesmas, esta tabela é acompanhada de 2 gráficos gerados a partir das mesmas, exibido na Figura 5.21.

A tabela mostra a data e as medições feitas ao utente, os gráficos mostram a evolução do peso e do IMC ao longo do tempo, estes gráficos são condensados às ultimas quatro medições, assim como a tabela. Os botões têm as mesmas funções que os da tabela das análises sanguíneas.



Figura 5.21: Tabela das ultimas medições de peso e altura de determinado utente e gráficos complementares)

5.2.2.3 Página de gestão de comprimidos

Na barra inicial, ao carregar no botão "Medicamentos" o utilizador é encaminhado para a página de gestão de comprimidos. Esta secção da interface permite efetuar todas as alterações e verificações no que diz respeito ao armazenamento de comprimidos no sistema. A tabela que aparece inicialmente é a que está apresentada na Figura 5.22 a), onde só é permitido verificar quais medicamentos estão no sistema, assim como as suas quantidades.

Na Figura 5.22 b) é apresentada a versão alterada da mesma quando é garantida a permissão e abertura do sistema para os responsáveis efetuarem alterações ao armazenamento de comprimidos. A nova tabela possui uma nova coluna em que se pode acrescentar mais comprimidos (símbolo "+") ou retirar todos desse compartimento (símbolo "lixo").

Ao clicar no botão que diz "Abrir Compartimento" inicia o processo de autenticação do responsável que está a aceder ao dispositivo. Sendo em primeiro lugar reencaminhado para a página de verificação da *tag* RFID com o aspeto da Figura 5.23 a), seguido da verificação da impressão digital na página representada pela Figura 5.23 b).

Espaço	Medicamento	Quantidade Restante	Adicionar/Editar/Apagar	
1	Benuron	12	+	🗑️
2	Diplecil	6	+	🗑️
3	Sinvastatina	23	+	🗑️
4	Clozam	22	+	🗑️
5	Olanzapina	11	+	🗑️
6	Mirtanzapina	18	+	🗑️

a) b)

Figura 5.22: Tabela de gestão de medicamentos a) Compartimentos fechados - b) Compartimentos abertos



Figura 5.23: Páginas de dupla verificação para acesso aos compartimentos

A figura apresenta o aspeto das páginas referidas, para efetuar as leituras esperadas é necessário iniciar as mesmas carregando no botão de cada página, isto porque o protótipo está programado para efetuar a leitura de impressões digitais para o propósito de dispensas, portanto quando tem de ser iniciada a leitura de *tag* ou da impressão digital para outro propósito. Esta tem de ser assinalada para ser processada como autenticação e não como pedido de dispensa, por isso tem de ser iniciada manualmente.

Com os compartimentos abertos, é possível efetuar alterações nas quantidades de comprimidos do sistema, ao retirar os comprimidos todos de uma "torre" todas as rotinas que tinham esse comprimido também são alteradas e retiram esse comprimido da rotina. Ao adicionar comprimidos é aberta uma página nova apresentada na Figura 5.24.

Adicionar medicamentos

Cor da "Torre"

Vermelho

Quantos comprimidos de Mirtanzapina vai adicionar?

Figura 5.24: Página de adição de medicamentos ao compartimento vermelho

A página mostra a cor da "torre" onde se está a efetuar a adição dos comprimidos e tem um campo de formulário onde é introduzida a quantidade a adicionar nessa mesma torre.

5.2.2.4 Página de histórico de dispensas disponíveis

Ao selecionar o botão de "Histórico Utilizações" permite ao utilizador verificar as dispensas que foram disponibilizadas pelo dispensador. Na Figura 5.25 é possível verificar as colunas que indicam o nome do utente, a dose que ficou disponível e a terceira coluna mostra diferentes informações consoante o estado dessa dispensa.

Nome	Dose	Horário
Mário Cerqueira	Acordar	07:45:00
Silvina Maria	Acordar	09:40:00
Helena Pinto	Acordar	DOSE FALHADA
Pedro Cerqueira	Acordar	10:20:00
Helena Pinto	Almoço	13:45:00
Helena Pinto	Jantar	21:00:00
Mário Cerqueira	Jantar	21:00:00
Mário Cerqueira	Deitar	00:37:00
Helena Pinto	Deitar	Ainda Não Foi Retirada
Silvina Maria	Deitar	DOSE FALHADA

Figura 5.25: Histórico de dispensas disponibilizadas

Quando uma dispensa é efetuada dentro da validade é mostrado o horário em que foi feita disponível, se não tiver sido dispensada dentro da validade a mensagem "DOSE FALHADA" aparece na coluna para informar o utilizador da interfase da falha na medicação, no caso da dispensa estar disponível mas ainda não tenha sido dispensada aparece a mensagem "Ainda Não Foi Dispensada".

5.2.2.5 Página de histórico de gestão de medicamentos

O botão "Histórico Gestão" permite aceder à tabela da Figura 5.26, onde está disponível as informações sobre as alterações efetuadas ao armazenamento de comprimidos do dispensador.

Gestor	Medicamento	Quantidade	Observações	Data	Hora
Pedro Cerqueira	Benuron	14	Foram introduzidas no sistema 14 comprimidos de Benuron	14 de Setembro de 2022	16:34
Pedro Cerqueira	Diplecil	10	Foram introduzidas no sistema 10 comprimidos de Diplecil	14 de Setembro de 2022	16:35
Pedro Cerqueira	Sinvastatina	26	Foram introduzidas no sistema 26 comprimidos de Sinvastatina	14 de Setembro de 2022	16:36
Pedro Cerqueira	Clozam	24	Foram introduzidas no sistema 24 comprimidos de Clozam	14 de Setembro de 2022	16:36
Pedro Cerqueira	Olanzapina	15	Foram introduzidas no sistema 15 comprimidos de Olanzapina	14 de Setembro de 2022	16:36
Pedro Cerqueira	Brufen	10	Foram introduzidas no sistema 10 comprimidos de Brufen	14 de Setembro de 2022	16:36
Pedro Cerqueira	Brufen	+20	Stock ficou com 30 comprimidos	14 de Setembro de 2022	16:38
Pedro Cerqueira	Brufen	-30	Foram eliminadas todas as rotinas que consumiam Brufen	14 de Setembro de 2022	16:38
Pedro Cerqueira	Mirtanzapina	20	Foram introduzidas no sistema 20 comprimidos de Mirtanzapina	14 de Setembro de 2022	16:38

Figura 5.26: Histórico da gestão de comprimidos

A tabela mostra, em cada instância, quem foi o responsável a efetuar a alteração, qual foi o comprimidos alterado, qual foi a natureza da alteração (adição ou retirada), a quantidade restante desse comprimido no sistema assim como a data e hora da alteração. Permitindo assim existir um controlo sobre quem movimenta o *stock* de comprimidos do sistema e encontrar potenciais erros ou práticas erradas na gestão do dispensador.

5.2.2.6 Página de login

A *framework* Django permite criar um sistema de permissões dentro das páginas WEB criadas, sendo possível criar sessões que permitem controlar o acesso a algumas funções que alteram o funcionamento do protótipo. Para indicar que funções são controladas é declarado o parâmetro "PermissionRequiredMixin" que indica a *framework* que só os utilizadores com permissão podem efetuar a função afetada.

Para efetuar as alterações de utentes, rotinas e movimentação de *stock* é necessário efetuar o *Login* para autenticar o responsável que pretende efetuar essas alterações. O formulário para efetuar o início de sessão, exibido na Figura 5.27, aparece quando o utilizador da interfase tenta efetuar alguma atividade

que necessita de permissão do sistema, se uma sessão não estiver iniciada anteriormente.

As informações utilizadas para este início de sessão são as introduzidas no formulário extra efetuado quando se adiciona um responsável ao sistema. Na barra que aparece em todas as páginas é possível efetuar o *logout* carregando no botão indicado com esse nome, chamando a função.

Login

Email:	<input type="text" value="Pedro"/>
Password:	<input type="password" value="••••••••"/>

Figura 5.27: Página de login

5.3 Testes adicionais

Os testes seguinte não foram pensados inicialmente porque foi uma funcionalidade adicionada posteriormente à definição dos testes a realizar e é relacionado com o detetor da quantidade de comprimidos existentes no dispensador.

É necessário que o dispensador consiga definir e alterar os níveis críticos do sistema assim como enviar os *e-mails* de aviso que foram definidos.

5.3.1 Ajuste nos valores críticos de medicamentos

Para testar o ajuste dos níveis críticos foi deixado que exista uma primeira definição dos valores críticos, seguido de uma alteração das rotinas de um utilizador acrescentando 2 comprimidos a uma das suas dosagens, podendo testar se o seguinte ajuste de valores críticos altera ou não os valores definidos no primeiro passo deste teste. O resultado do teste é o da Figura 5.28, o tempo de entre verificação de níveis críticos é de 10 minutos, portanto a imagem está editada para unir as mensagens que aparecem na consola do computador.

É possível verificar que os níveis críticos foram ajustados corretamente, existindo a alteração em duas unidades no segundo compartimento de comprimidos (de 3 para 5 comprimidos). Com os níveis definidos e a funcionar corretamente é possível verificar se o sistema de aviso por *e-mail* funciona corretamente, existindo três tipos de avisos foram realizados três testes diferentes.

```

13:50:00
[2, 3, 6, 2, 4, 7]
Críticos ajustados

14:00:00
000000
[2, 5, 6, 2, 4, 7]
Críticos ajustados

```

Figura 5.28: Ajuste do nível crítico de comprimidos

5.3.2 *E-mail* de validade expirada numa dispensa

O primeiro teste é realizado deixando uma dispensa atingir a validade definida, resultando na mensagem de consola e *e-mail* enviado aos responsáveis pelo sistema mostrados na Figura 5.29.

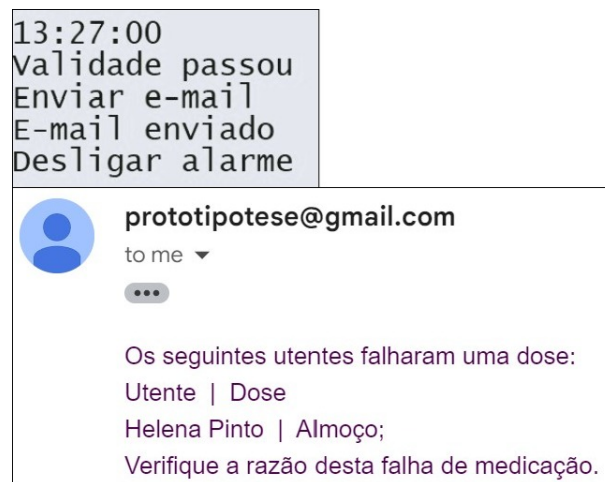


Figura 5.29: Mensagem de consola e *E-mail* recebido por validade de dispensa atingida

A passagem do tempo de validade começa a tarefa de enviar o aviso por *e-mail*, com o nome do utente e a dose que passou de validade.

5.3.3 *E-mail* de aviso por falta de comprimidos

O segundo teste é realizado efetuando um pedido de dispensa em que o dispensador não tem a quantidade de comprimidos necessária para fazer a dosagem completa, para isto simulou-se uma dispensa que necessita de 3 comprimidos mas só existindo 1 nos compartimentos. A mensagem deve referir quantos comprimidos faltavam para a dosagem correta. O *e-mail* recebido está na Figura 5.30 assim como a mensagem na consola do computador.

A primeira linha na consola refere que a dosagem consiste em 3 comprimidos do 3º compartimento, como só existe um comprimido desse compartimento, a dosagem é ajustada e enviada para o dispensador (mensagem que diz "001000") e o *e-mail* é enviado com o aviso dos comprimidos que faltam para a dosagem correta.

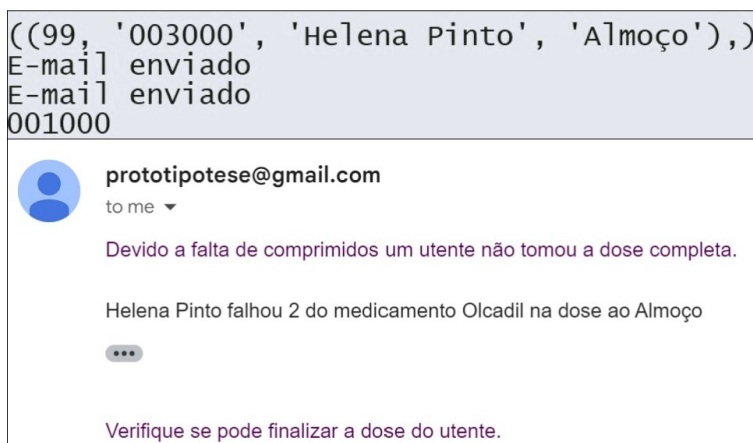


Figura 5.30: *E-mail* recebido por falta de comprimidos

5.3.4 *E-mail* de aviso de baixa quantidade de comprimidos

O terceiro e último teste é feito quando a quantidade de comprimidos atinge os níveis de aviso e críticos definidos no desenvolvimento do dispensador. Com essa finalidade é efetuada uma dispensa que faz a quantidade restante dos comprimidos atingir os dois níveis referidos (de aviso e crítico) resultando no *e-mail* da Figura 5.31.

Antes da dispensa todos os comprimidos estavam acima dos níveis que se querem testar, com a dispensa dois compartimentos atingem o nível de aviso e um atinge o nível crítico. Como o *e-mail* confirma, os comprimidos com "(C)" à frente já atingiram o nível crítico e não irá existir comprimidos suficientes para 24 horas de funcionamento correto, qualquer comprimido que não seja assim assinalado irá falhar as entregas em três dias de funcionamento.

Os testes de funcionamento dos *e-mails* e dos níveis de aviso e críticos permitem confirmar o correto funcionamento do dispensador dentro das situações a que foi sujeito.

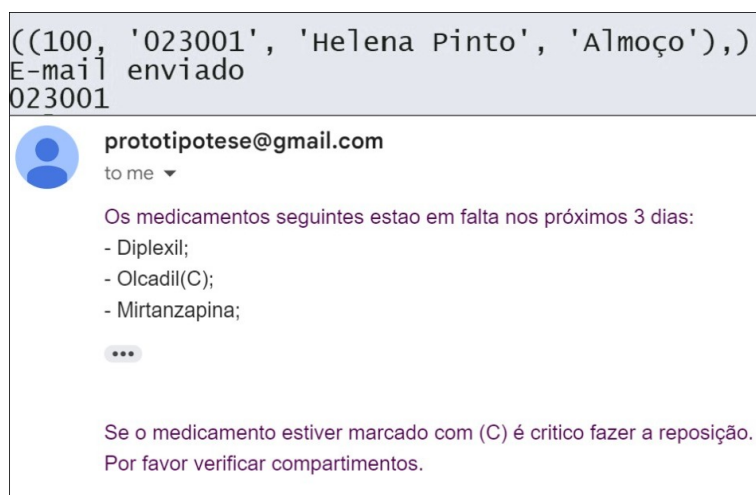


Figura 5.31: E-mail recebido por atingir as quantidades de comprimidos de aviso e crítico

5.4 Aspeto final do protótipo

Esta secção pretende demonstrar o resultado palpável do dispensador desenvolvido, vai ser feita uma contagem do tempo de impressão total deste protótipo e a apresentação de fotografias do dispensador já montado.

A impressora 3D utilizada foi a Creality Ender 3D Pro, com uma área de impressão de 23 cm de largura e comprimento e 25 cm de altura, portanto a grande maioria das partes foram impressas uma de cada vez.

5.4.1 Impressão das partes

No total foram impressas 202 partes para a construção deste dispensador, de seguida segue uma apresentação dos tempos de impressão dos diferentes conjuntos de peças para determinar o tempo total de impressão.

- Torres de comprimidos

Como foi referido existem 6 conjuntos de "torres de comprimidos", cada conjunto tem uma capacidade inicial de 15 comprimidos, foi também decidido aumentar a capacidade de 3 dos conjuntos para 30 comprimidos com outro disco giratório para demonstrar a capacidade de escalabilidade do dispensador. Cada torre foi impressa com uma cor diferente, para que a organização e identificação das partes fosse facilitada.

De seguida é apresentada a Tabela 5.2 das partes impressas, número de cada parte e tempo de impressão de cada uma, calculando também o tempo total de cada torre.

Tabela 5.2: Partes e tempo de impressão das *torres de comprimidos*

Parte	Quantidade	Tempo de impressão (hh:mm)
Disco giratório	1 (2*)	2:33 (5:06*)
Base fixa	1 (2*)	2:25 (4:50*)
Base amovível	1 (2*)	1:32 (3:04*)
Veio	1	0:47
Suporte motor	1	2:46
Rampa	1	2:41
Espaçador (4cm)	8	3:37**
Espaçador (6cm)	2	1:46**

* - capacidade de 30 comprimidos

** - todas as peças impressas em simultâneo

Como se pode verificar, uma "torre de comprimidos" com capacidade para 15 comprimidos é composta de 16 partes e demorou 18 horas e 7 minutos a imprimir, sendo que as torres com maior capacidade têm mais 3 partes totalizando 24 horas e 37 minutos. Com os 6 conjuntos de partes impressos, foi gasto na sua impressão um total de 128 horas e 12 minutos para fabricar os sistemas de dispensa do protótipo. As cores utilizadas permitem distinguir as diferentes "torres" e foram escolhidas as cores, em ordem de número de compartimento, branco, amarelo, azul, roxo, preto e vermelho.

- Sistema de abertura

O sistema de abertura, como foi referido, é composto por 2 partes, as tampas das "torres" e o mecanismo de abertura. É de referir que o sistema de encaixe pensado para as tampas funcionou perfeitamente e portanto não foi necessário utilizar um plano secundário para representar este sistema. Como foi feito anteriormente segue a Tabela 5.3 com a descrição dos tempos de impressão das partes.

Com um total de 25 partes e totalizando 31 horas e 8 minutos de impressão para o sistema de abertura, as tampas e encaixes foram fabricadas em laranja, o sistema de atuação da abertura foi feito a bege.

Tabela 5.3: Partes e tempo de impressão do sistema de abertura

Parte	Quantidade	Tempo de impressão (hh:mm)
Tampa	6	3:21
Encaixes	12*	2:48**
Base	1	4:22
Espaçador	1	9:19
Encaixe motor	1	3:35
Encaixe Veio	2	5:06**
Veio	1	0:49
Viga	1	1:48

* - Conjuntos de 2 peças por encaixe

** - todas as peças impressas em simultâneo

Como foi referido, a utilização do sistema modelado para abertura estaria dependente da capacidade do motor suportar o torque necessário para abrir o conjunto de tampas, ao montar todo o conjunto e experimentar o motor, não foi possível fazer o motor levantar as tampas sem auxílio manual, mesmo com o contrapeso aplicado. Portanto foi necessário passar para o segundo *design* pensado para as tampas do dispensador. A Figura 5.32 a) demonstra a nova estrutura das tampas, e apesar de só uma das tampas ser levantada pelo sistema de abertura como demonstração de conceito, os encaixes na Figura 5.32 b) entre as mesmas simbolizam que uma tampa só é retirada se a anterior já não estiver no lugar dela.

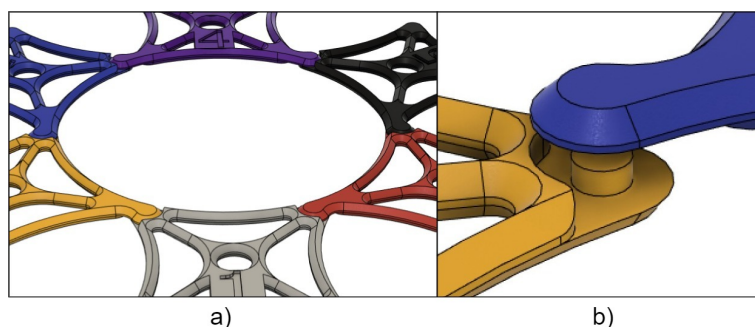


Figura 5.32: a) Segunda versão tampas do dispensador - b) Detalhe do encaixe

Neste caso a tampa 4 (roxa) é a que sofre a atuação do sistema de abertura, posteriormente pode-se retirar as tampas 3 e 5 (azul e preta), seguido das tampas 2 e 6 (amarela e vermelha) e por fim a tampa 1 (branca) pode ser levantada, com este sistema existe a possibilidade de trocar as posições das tampas, porém foi a melhor maneira de representar esta funcionalidade do dispensador.

Com este problema ultrapassado foi necessário imprimir as novas versões das tampas, assim como uma nova viga do sistema de abertura, que sofreu alguns danos nas tentativas de fazer a primeira versão funcionar. Com cada tampa a demorar em média 3 horas e 35 minutos a fabricar, foi adicionado 23 horas e 18 minutos ao tempo total de impressão para o dispensador.

- Sistema de Recolha

O sistema de recolha de comprimidos é mais simples apenas constituído por 4 partes, embora sejam as que mais tempo demoraram a ser feitas, o funil central demorou 9 horas e 47 minutos, o tubo de transporte até à caixa de recolha foi feito em 2 partes e demorou um total de 10 horas e 5 minutos, por último, a caixa de recolha foi feita em 6 horas e 49 minutos.

Totalizando um tempo de 26 horas e 41 minutos para todo este sistema complementar, impresso a laranja.

- Proteção de circuitos

As proteções de circuitos têm variadas formas e é algo desnecessário referir ao pormenor o tempo de cada impressão, com isto em mente, foi necessário um total de 15 horas e 22 minutos para imprimir as 14 peças destinadas a acolher os circuitos elétricos e que foram coladas com cola quente à plataforma de madeira.

- Estética e de estabilidade

Para finalizar a impressão, foram desenhados mais 2 tipos de peças, uma placas estabilizadoras, para conectar de forma firme as "torres de comprimidos" e uma peça que tapa as porcas que seguram as barras de ferro à plataforma. As barras de estabilidade são 6, demorando 3 horas e 12 minutos a imprimir em conjuntos de 3. As partes de estética demoraram, em 6 conjuntos de 8 peças, 57 minutos a imprimir. Totalizando 12 horas e 6 minutos para finalizar estas partes.

Somando este tempo de impressão, a criação das partes deste dispensador demoraram 236 horas e 47 minutos, o que equivale a quase 10 dias de impressão contínua, isto é, sem contar com os tempos de limpeza, manutenção da impressora e mudança de filamentos. De seguida estão algumas fotografias do resultado dos diferentes sistemas referidos anteriormente.

5.4.2 Montagem final

Para mostrar o resultado final do protótipo foi tirada uma fotografia ao projeto total mostrado na Figura 5.33 e de seguida irão ser apresentados os

detalhes dos diferentes sistemas referidos anteriormente, excluindo as partes estéticas que se consideram irrelevantes.



Figura 5.33: Aspeto físico do dispensador de medicamentos

Como se pode verificar, todo o sistema está seguro na plataforma de madeira que foi montada especificamente para o projeto. A capacidade de todo o sistema poderia ser aumentada pelo espaço restante entre as tampas (laranja) e o topo das "torres de comprimidos", porém foi considerado desnecessário o gasto de mais tempo de impressão e de plástico no fabrico das partes. No canto esquerdo inferior da fotografia é possível ver os pontos de acesso ao dispensador, o leitor de impressões digitais e o leitor de RFID.

O microcontrolador está localizado na parte de trás do dispensador no canto direito (visível na imagem). À frente no canto direito estão os dois leitores de controlo de acesso, do lado esquerdo está o alarme visual. Na parte de baixo da plataforma está a caixa de recolha de comprimidos

Na Figura 5.34 é possível verificar que todos os sistemas de dispensa estão direcionados ao funil central, assim como o detalhe de uma "torre de comprimidos".

O compartimento mostrado é de 30 comprimidos, com 2 discos giratórios incluídos neste conjunto, a parte amovível das base dos discos giratórios estão

desfasadas uma casa, para que a roda de cima "alimente" a de baixo. A existência de espaço no veio central da "torre" comprova que o sistema poderia ter mais capacidade. As partes a laranja são as que foram referidas como partes de estabilidade, unindo fisicamente as diferentes "torres".



Figura 5.34: Sistemas de dispensa (esquerda) e detalhe (direita)

A fotografia seguinte mostra o sistema de abertura do dispensador em funcionamento, com a tampa do compartimento número 4 levantado pelo motor responsável, como se pode ver na Figura 5.35, as restantes terão de ser retiradas manualmente pela ordem indicada anteriormente.



Figura 5.35: Sistemas de abertura

A recolha dos comprimidos é feita na parte inferior da plataforma na caixa de recolha (Figura 5.36), o tubo da direita também foi uma das partes modeladas e está conectada à parte inferior do funil central da foto da esquerda da Figura 5.34. O destino final dos comprimidos é a secção retangular que está mais próxima na fotografia, sendo a caixa onde o tubo está pousado responsável por não deixar os comprimidos saírem descontrolados do sistema.

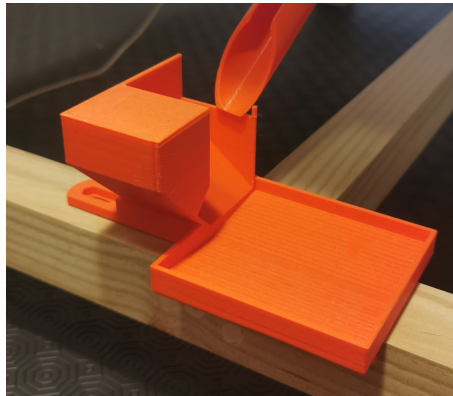


Figura 5.36: Caixa de recolha de comprimidos

Apesar de existir uma mudança nos planos da montagem do dispensador considerou-se a montagem final um sucesso, por fazer com que o funcionamento físico do dispensador atinja os objetivos traçados no início do projeto.

Capítulo 6

Conclusão

Finalizando o desenvolvimento do dispensador de medicamentos foi possível concluir que todos os objetivos que foram determinados no projeto cumpridos na sua maioria, até juntando funcionalidades que não estavam planeadas à partida.

Esta secção está reservada a uma primeira apreciação global e reflexão sobre os objetivos traçados e atingidos, seguido de um exercício de pensamento em melhorias que poderiam elevar a qualidade do projeto terminando com um agregado das capacidades que foram desenvolvidas na duração deste projeto.

6.1 Apreciação global

O dispensador é capaz de fazer as dispensas programadas sem erros, utilizando o controlo de acessos de leitura de impressão digital, assegurando à partida a identidade do utente que pede a dispensa. A capacidade de adicionar vários utilizadores ao mesmo dispensador sobrepõe este protótipo a todos os dispensadores encontrados no mercado durante a fase de pesquisa do projeto. Foi confirmado que qualquer utilizador vai ter ao seu dispor a dosagem correta para determinado horário.

A utilização dos controlos de acesso garante uma segurança de dois, ou até três (início de sessão) para a abertura dos compartimentos de comprimidos. Ambos os controlos de acesso estão conectados ao mesmo microcontrolador, utilizando uma única ligação série ao servidor, que está encarregue da capacidade de hospedar as bases de dados criadas e fazer pesquisas e alterações nas mesmas segundo os pedidos de utilizadores, sejam eles utentes ou responsáveis do dispensador.

Esta capacidade de manipulação das bases de dados permite efetuar as autenticações necessárias para que o funcionamento do dispensador de medicamentos seja correto, sem arriscar a má medicação dos utentes e foram desenvolvidas algumas ferramentas que ajudam o responsável a manter o dispensador em condições corretas de utilização, como os níveis de aviso e os envios de *e-mail*.

Juntamente com estas últimas funcionalidades, a capacidade de guardar dados específicos de cada utilizador, como análises sanguíneas e medidas corporais, permite aos responsáveis pelo sistema e o ambiente onde se encontram de monitorizar as evoluções desses parâmetros para cada utilizador.

A *framework* Django permitiu o desenvolvimento sólido da interfase WEB utilizada para programar as dispensas deste protótipo de forma intuitiva e fácil, sem necessidade de qualquer conhecimento técnico para alcançar esse objetivo. A utilização das bibliotecas disponíveis no ambiente Django permitiu a adição das funções que não foram projetadas no início do projeto de forma eficaz e facilitada.

Este projeto oferece algumas novidades ao mundo dos dispensadores de medicamentos, em nenhum dos disponíveis é possível introduzir mais do que um utilizador por dispensador, o que permite a este protótipo ser introduzido em locais onde é esperado que vários utentes tenham possibilidade de o utilizar, como por exemplo lares de terceira idade.

Apenas um dispensador de medicamentos encontrado tem um sistema de aviso remoto quando existe falhas de dosagem ou falta de comprimidos. A introdução do sistema de envio de *e-mails* veio dar a este protótipo uma novidade ainda não muito frequente nestes equipamentos. Também foi o único encontrado que utiliza controlo de acessos biométricos de identificação, porém a sua disponibilidade é limitada aos EUA e Canada.

Apesar de partilhar algumas funcionalidades o armazenamento do dispensador referido anteriormente é obrigatoriamente gerido por um farmacêutico certificado, o que não é o caso com o protótipo desenvolvido que é gerido por um responsável do sistema.

Nenhum dos dispensadores encontrados permite também o armazenamento de dados de utilização e dados pessoais dos utilizadores, como as medições corporais e os valores das análises sanguíneas. Isto é uma mais valia porque no mundo atual a informação sobre as pessoas é muito importante para tentar melhorar a vida das pessoas através de análises destes dados.

Para suportar a afirmação anterior, a análise de todos os dados dos utentes de um dispensador poderia encontrar algumas falhas na alimentação da instituição onde este está inserido, encontrando um padrão nos valores das análises sanguíneas.

6.2 Melhorias no projeto

Em primeiro lugar, considerando a melhoria mais importante deste projeto, seria utilizar, por exemplo, uma placa como a Raspberry Pi para hospedar e correr os *scripts* responsáveis pelo funcionamento do dispensador de comprimidos. Permitindo a possibilidade de desconectar de um computador de maiores dimensões, até mesmo melhorando os consumos de eletricidade de todo o projeto. Esta melhoria poderia vir associada a uma capacidade de correr um servidor ligado à rede Ethernet e a programação do mesmo poderia ser efetuada a partir de diferentes computadores acedendo ao IP escolhido.

Outra melhoria que foi pensada seria a utilização de inteligência artificial para verifica, na caixa de recolha de comprimidos, se a dosagem foi bem dispensada, utilizando várias fotografias de cada comprimido do sistema e comparando a dosagem que foi dispensada com a dosagem esperada para o horário.

A utilização de reconhecimento facial poderia também ser uma opção para a identificação dos utilizadores do dispensador de medicamentos.

O aspeto geral da interface também poderia ser melhorado e refinado, porém o objetivo principal da mesma foi cumprido devido à apresentação de dados e programação do dispensador que funciona independentemente do aspeto do *site*.

Por último, e sendo uma melhoria que não pode ser controlada por este projeto, seria as dimensões dos comprimidos estarem padronizadas, facilitava a construção dos sistemas de dispensa do protótipo, sendo possível mudar o mecanismo e reduzir em tamanho consideravelmente.

6.3 Competências adquiridas

Este projeto ajudou, em primeiro lugar, a desenvolver a utilização de diferentes tipos de controlos de acesso em simultâneo no mesmo microcontrolador, capacidade que não teria sido necessária antes da elaboração do protótipo. Foi também a primeira vez que se interagiu com um leitor de impressões digitais e se necessitou de algum tempo para perceber como este funciona, apesar das bibliotecas para o mesmo já estarem desenvolvidas anteriormente.

Melhorou significativamente a mestria no desenvolvimento de interfases WEB em *framework* Django, que apesar de ser uma capacidade que já se teria iniciado, com a ajuda de outros colegas, foi posta à prova quando foi necessário o desenvolvimento em trabalho individual.

Porém, sem sombra de dúvidas, as capacidades desenvolvidas na disciplina de Sistemas Flexíveis de Fabrico de desenvolver modelos 3D, foram as que mais evoluíram durante este projeto, sendo necessário criar todo um sistema de raiz, pondo à prova não só a imaginação como a capacidade de resolver os problemas que foram surgindo. Assim como despertaram uma nova paixão por impressoras 3D, máquina que nunca teria despertado interesse posteriormente ao desenvolvimento deste projeto.

Referências

- [1] M. A. F. Rosa, “O circuito do medicamento nos lares de idosos.” <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/1018/1/MARIANA.pdf>. Acedido a: 9/outubro/2021. [Quoted on p. 6]
- [2] Smithsonian, “Wagner pill dispenser patent model.” https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_332970. Acedido a: 09/maio/2020. [Quoted on p. 7]
- [3] P. P. Gossel, “Packaging the pill.” <http://www.artefactsconsortium.org/Publications/PDFfiles/Vol1Med/1.05.Medicine-Gossel,PackagingThePillGrBlank3AWEBF.pdf>, 1999. Acedido a: 09/maio/2020. [Quoted on p. 7]
- [4] Smithsonian, “On the pill.” <https://americanhistory.si.edu/early-sixties%E2%80%94american-science/%E2%80%9C-pill%E2%80%9D>. Acedido a: 09/maio/2020. [Quoted on p. 7]
- [5] SE7EN-DAY, “Weekly pill organizer.” <https://www.amazon.com/Organizer-Compartments-Moisture-Proof-Medication-Supplements/dp/B07Q9JSHMP>. Acedido a: 09/maio/2020. [Quoted on p. 8]
- [6] Pill Thing, “Daily pill reminder with lock.” <https://pillthing.com/products/daily-pill-reminder-with-lock-item-554>. Acedido a: 09/maio/2020. [Quoted on p. 8]
- [7] B. Jordan, “Blister pack.” <https://unsplash.com/s/photos/blister-pack>. Acedido a: 13/maio/2020. [Quoted on p. 9]
- [8] HUALE MACHINERY CO.,LTD Tablet Alu Alu Packing Blister Packaging Machine Pharmaceutical Industry, “Tablet alu alu packing blister packaging machine pharmaceutical industry.” <http://www.blister-packagingmachine.com/sale-5444872-tablet-alu-alu-packing->

- blister-packaging-machine-pharmaceutical-industry.html. Acedido a: 13/maio/2020. [Quoted on p. 9]
- [9] D. Rodriguez, "Securing medications for your trip." <https://www.everydayhealth.com/healthy-travel/traveling-with-medications.aspx>. Acedido a: 13/maio/2020. [Quoted on p. 9]
- [10] BioRx Laboratories, "Sponix biorx amber prescription pharmacy vials - 20 dram - snap caps - pack of 12." <https://www.amazon.com/Prescription-Pharmacy-Amber-Medicine-Bottle/dp/B0713X5ZLP>. Acedido a: 13/maio/2020. [Quoted on p. 9]
- [11] U.S. National Library of Medicine, "Storing your medicines." <https://medlineplus.gov/ency/patientinstructions/000534.htm>. Acedido a: 13/maio/2020. [Quoted on p. 10]
- [12] Hero, "Hero pill dispenser." <https://herohealth.com/>. Acedido a: 11/maio/2020. [Quoted on p. 12, 13]
- [13] PharmAdva, "Medacube automatic pill dispenser." <https://www.amazon.com/MedaCube-Automatic-Dispenser-12-bin-Wi-Fi/dp/B07CGQTJFS/>. Acedido a: 11/maio/2020. [Quoted on p. 14]
- [14] PharmAdva, "Medacube – keep your loved one safe in their home!" <https://www.medacube.com/>. Acedido a: 11/maio/2020. [Quoted on p. 14]
- [15] Philips Lifeline, "Philips medication dispenser." <https://www.lifeline.philips.com/pill-dispenser/health-mdp.html>. Acedido a: 11/maio/2020. [Quoted on p. 15]
- [16] e-pill Medication Reminders, "Medtime xl." <https://www.epill.com/medtime.html>. Acedido a: 11/maio/2020. [Quoted on p. 16]
- [17] Medipense Inc, "Rxpanse® hub." <https://medipense.com/en/rxpanse/>. Acedido a: 14/dezembro/2020. [Quoted on p. 17]
- [18] Infarmed, "Aumento do consumo de medicamentos em 2018 com despesa controlada." https://www.infarmed.pt/web/infarmed/comunicados-de-imprensa1/-/journal_content/56/15786/2961331. Acedido a: 15/maio/2020. [Quoted on p. 19]
- [19] Infarmed / PORDATA, "Sns: receitas médicas e embalagens - continente." <https://www.pordata.pt/Portugal/SNS+receitas+m%C3%A9dicas+e+embalagens+++Continente-600-4140>. Acedido a: 15/maio/2020. [Quoted on p. 20]

- [20] Institutos Nacionais de Estatística / PORDATA, “Esperança de vida à nascença: total e por sexo.” <https://www.pordata.pt/Europa/Esperan%C3%A7a+de+vida+%C3%A0+nascen%C3%A7a+total+e+por+sexo-1260>. Acedido a: 15/maio/2020. [Quoted on p. 20]
- [21] INE / PORDATA, “Indicadores de envelhecimento.” <https://www.pordata.pt/Portugal/Indicadores+de+envelhecimento-526-3741>. Acedido a: 15/maio/2020. [Quoted on p. 21]
- [22] CUF, “Doença de parkinson.” <https://www.cuf.pt/saude-a-z/doenca-de-parkinson>. Acedido a: 17/maio/2020. [Quoted on p. 21]
- [23] H. A. Gonzalez-Usigli, “Doença de parkinson (dp).” <https://www.msmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-cerebrais,-da-medula-espinal-e-dos-nervos/doen%C3%A7as-do-movimento/doen%C3%A7a-de-parkinson-dp>. Acedido a: 17/maio/2020. [Quoted on p. 21]
- [24] Oftalpro, “Os números portugueses da deficiência visual.” <https://www.oftalpro.pt/2018/09/17/os-numeros-portugueses-da-deficiencia-visual/>. Acedido a: 17/maio/2020. [Quoted on p. 22]
- [25] Associação dos Cegos e Amblíopes de Portugal, “Braille.” <http://www.acapo.pt/deficiencia-visual/perguntas-e-respostas/braille>. Acedido a: 17/maio/2020. [Quoted on p. 22]
- [26] Associação Portuguesa de Familiares e Amigos dos Doentes de Alzheimer, “A doença de alzheimer.” <https://alzheimerportugal.org/pt/text-0-9-30-14-a-doenca-de-alzheimer>. Acedido a: 17/maio/2020. [Quoted on p. 22]
- [27] Associação Portuguesa de Familiares e Amigos dos Doentes de Alzheimer, “Prevalência da demência.” <https://alzheimerportugal.org/pt/prevalencia>. Acedido a: 17/maio/2020. [Quoted on p. 22]
- [28] INE / PORDATA, “Taxa de analfabetismo segundo os censos: total e por sexo.” <https://www.pordata.pt/Portugal/Taxa+de+analfabetismo+segundo+os+Censos+total+e+por+sexo-2517>. Acedido a: 17/maio/2020. [Quoted on p. 22]
- [29] A. Miguel-Cruz, A. F. Bohórquez, and P. A. A. Parra, “What does the literature say about using electronic pillboxes for older adults? - a systematic literature review.” <https://www.researchgate.net/publication/329044960>. Acedido a: 10/janeiro/2021. [Quoted on p. 23]
- [30] J. Henriksson, G. Tydén, J. Höijer, and J. Wadström, “A prospective randomized trial on the effect of using an electronic monitoring drug

- dispensing device to improve adherence and compliance.” <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26588006/>. Acedido a: 10/janeiro/2021. [Quoted on p. 23]
- [31] A. Zeller, K. Schroeder, and T. J. Peters, “Electronic pillboxes (mems) to assess the relationship between medication adherence and blood pressure control in primary care.” <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3379760/>. Acedido a: 10/janeiro/2021. [Quoted on p. 23]
- [32] Senseon, “Understanding access control systems.” <https://www.senseon.com/access-control/#>. Acedido a: 26/maio/2020. [Quoted on p. 24]
- [33] S. Davis, “3 types of access control: Which is right for your building?.” <https://www.tedsystems.com/3-types-access-control-which-right-building/>. Acedido a: 26/maio/2020. [Quoted on p. 26]
- [34] “Facebook.” <https://www.facebook.com/>. Acedido a: 30/maio/2020. [Quoted on p. 27]
- [35] Identity Force, “2019 data breaches.” <https://www.identityforce.com/blog/2019-data-breaches>. Acedido a: 30/maio/2020. [Quoted on p. 27]
- [36] TechTarget, “two-step verification.” <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/two-step-verification>. Acedido a: 3/junho/2020. [Quoted on p. 27]
- [37] B. Rhodes, “Keypads for access control tutorial.” <https://ipvm.com/reports/least-secure-readers-ever-keypads>. Acedido a: 3/junho/2020. [Quoted on p. 28]
- [38] Identiv, “Hirsch scramblepad reader family.” <https://www.identiv.com/products/physical-access/readers/hirsch-scramblepad-reader-family/>. Acedido a: 3/junho/2020. [Quoted on p. 29]
- [39] K. Finkenzeller, *RFID Handbook*. West Sussex, John Wiley & Sons Ltd., 2010. [Quoted on p. 29]
- [40] Instructables Circuits, “Arduino rfid reader / mfrc522 tutorial.” <https://www.instructables.com/Arduino-RFID-Reader-MFRC522-Tutorial/>. Acedido a: 3/junho/2020. [Quoted on p. 29]
- [41] M. Cardullo, “Transponder apparatus and system.” <https://patents.google.com/patent/US3713148A/en>. Acedido a: 3/junho/2020. [Quoted on p. 29]

- [42] Lemelson-MIT Program, "Charles walton." <https://lemelson.mit.edu/resources/charles-walton>. Acedido a: 3/junho/2020. [Quoted on p. 30]
- [43] Editorial Team - everything RF, "Low frequency (lf) rfid tags & systems." <https://www.everythingrf.com/community/low-frequency-lf-rfid-tags>. Acedido a: 3/junho/2020. [Quoted on p. 30]
- [44] eletronicnotes, "Rfid frequency bands & spectrum." <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/rfid-radio-frequency-identification/frequency-bands-spectrum.php>. Acedido a: 3/junho/2020. [Quoted on p. 30]
- [45] S. S. Shah and K. J. Pithadiya, "An Analytical Survey on Biometric Access Control for Physical Security," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 4, no. 5, pp. 9192–9197, 2016. [Quoted on p. 31, 34]
- [46] DHgate, "Uru4500 fingerprint scanner fingerprint sensor fingerprint reader com usb persona digital usb biometric scanner gratuito sdk para controle de acesso." <https://pt.dhgate.com/product/uru4500-fingerprint-scanner-fingerprint-sensor/489365889.html>. Acedido a: 9/junho/2020. [Quoted on p. 32]
- [47] Pro Sound and Security, "Card access control – biometric handprint." https://prosoundandsecurity.com/access-control/pro-sound-and-security_card-access-control-biometric-handprint/. Acedido a: 9/junho/2020. [Quoted on p. 32]
- [48] C. Burt, "Biometrics for online security, access control, pandemic impact top digital identity news of the week." <https://www.biometricupdate.com/202004/biometrics-for-online-security-access-control-pandemic-impact-top-digital-identity-news-of-the-week>. Acedido a: 9/junho/2020. [Quoted on p. 32]
- [49] J. Trader, "Iris recognition vs. retina scanning – what are the differences?." <https://www.m2sys.com/blog/biometric-hardware/iris-recognition-vs-retina-scanning-what-are-the-differences/>. Acedido a: 9/junho/2020. [Quoted on p. 32]
- [50] U.S. National Library of Medicine, "What is dna?." <https://ghr.nlm.nih.gov/primer/basics/dna>. Acedido a: 9/junho/2020. [Quoted on p. 32]
- [51] M. Hashiyada, "Dna biometrics." <https://www.intechopen.com/books/biometrics/dna-biometrics>. Acedido a: 9/junho/2020. [Quoted on p. 33]

- [52] Search SQL Server, “database (db).” <https://searchsqlserver.techtarget.com/definition/database>. Acedido a: 13/junho/2020. [Quoted on p. 34]
- [53] T. Winterburn, “Swedes get futuristic high tech implants in their hands to replace cash and credit cards, eliminating coronavirus contact.” <https://www.euroweeklynews.com/2020/04/10/swedes-get-futuristic-high-tech-implants-in-their-hands-to-replace-cash-and-credit-cards-eliminating-coronavirus-contact/>. Acedido a: 13/junho/2020. [Quoted on p. 34, 35]
- [54] K. Allen, “Microchip implants chart new territory, but some experts say they are an ethical nightmare.” <https://abcnews.go.com/Technology/microchip-implants-chart-territory-call-ethical-nightmare/story?id=48987219>. Acedido a: 13/junho/2020. [Quoted on p. 35]
- [55] GMElectronic, “Development kit arduino mega 2560 r3 - 100% clone.” <https://www.gmelectronic.com/100-compatible-arduino-mega-2560-r3-clone-usb-b-atmega16u2>. Acedido a: 30/abril/2021. [Quoted on p. 39]
- [56] Arduino, “Atmega2560-arduino pin mapping.” <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>. Acedido a: 30/abril/2021. [Quoted on p. 39]
- [57] Atmel, “Atmel atmega640/v-1280/v-1281/v-2560/v-2561/v.” https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf. Acedido a: 30/abril/2021. [Quoted on p. 40]
- [58] A. of Circuits, “Optical finger-print sensor module – fpm10a / dy50.” <https://artofcircuits.com/product/fpm10a>. Acedido a: 10/maio/2021. [Quoted on p. 40]
- [59] H. Thach, “Adafruit-fingerprint-sensor-library.” https://github.com/adafruit/Adafruit-Fingerprint-Sensor-Library/blob/master/Adafruit_Fingerprint.cpp. Acedido a: 10/maio/2021. [Quoted on p. 41]
- [60] J. Bigun, “Fingerprint features.” <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.184.2868&rep=rep1&type=pdf>. Acedido a: 10/maio/2021. [Quoted on p. 41]
- [61] Desconhecido, “Fingerprint sensor module with arduino (fpm10a).” <http://repository.uy.ac.id/bitstream/handle/123456789/22709/FPM10A.pdf?sequence=13&isAllowed=y>. Acedido a: 11/maio/2021. [Quoted on p. 42]

- [62] Arduino, "Softwareserial library." <https://www.arduino.cc/en/Reference/softwareSerial>. Acedido a: 11/maio/2021. [Quoted on p. 42]
- [63] L. M. Engineers, "Rc522 rfid module pinout." <https://lastminuteengineers.com/how-rfid-works-rc522-arduino-tutorial/>. Acedido a: 11/maio/2021. [Quoted on p. 43, 44]
- [64] DIYIOT, "Rfid sensor tutorial for arduino, esp8266 and esp32." <https://diyi0t.com/rfid-sensor-tutorial-for-arduino-and-esp8266/>. Acedido a: 11/maio/2021. [Quoted on p. 44]
- [65] P. T. solutions, "28byj-48 stepper motor and uln2003 stepper motor driver." <https://www.probots.co.in/28byj-48-stepper-motor-and-uln2003-stepper-motor-driver.html>. Acedido a: 11/maio/2021. [Quoted on p. 45]
- [66] W. H. Ltd, "28byj-48 - 5v stepper motor." <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1006817/Kiatronics/28BYJ-48/1>. Acedido a: 11/maio/2021. [Quoted on p. 45]
- [67] Ravi, "Stepper motor." <http://electricalarticle.com/stepper-motor/>. Acedido a: 11/maio/2021. [Quoted on p. 45]
- [68] T. Instruments, "Uln200x, ulq200x high-voltage, high-current darlington transistor arrays." https://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2003a.pdf?ts=1626178942911&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FULN2003A%253Futm_source%253Dgoogle%2526utm_medium%253Dcpc%2526utm_campaign%253Dapp-null-null-GPN_EN-cpc-pf-google-wwe%2526utm_content%253DULN2003A%2526ds_k%253DULN2003A%2526DCM%253Dyes%2526gclid%253DCjwKCAjw87SHBhBiEiwAukSeUS0JSTzHqo2fBsClqLv91JhbL-E2Q-uUDo0LTatBtgQP0qnYtPAdahoCcYEQAvd_BwE%2526gclidsrc%253Daw.ds. Acedido a: 11/maio/2021. [Quoted on p. 46]
- [69] Components101, "S8050 - npn transistor." <https://components101.com/transistors/s8050-transistor-pinout-equivalent-datasheet>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 46]
- [70] T. Instruments, "Cd405x bcmos single8 - channel analog multiplexer/demultiplexer with logic-level conversion." <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4051b.pdf>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 47]
- [71] DLNWare, "Spi bus structure." <http://dlnware.com/dll/SPI-Bus-Structure>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 49]

- [72] E. Peña, "Uart: A hardware communication protocol understanding universal asynchronous receiver/transmitter." <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/uart-a-hardware-communication-protocol.html#>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 50]
- [73] S. Campbell, "Basics of uart communication." <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 51]
- [74] Django, "Django documentation." <https://docs.djangoproject.com/en/2.2/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 52]
- [75] Django, "Models." <https://docs.djangoproject.com/en/2.2/topics/db/models/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 52]
- [76] Django, "Making queries." <https://docs.djangoproject.com/en/2.2/topics/db/queries/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 52]
- [77] Django, "Databases." <https://docs.djangoproject.com/en/2.2/ref/databases/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 52]
- [78] A. Johari, "Django tutorial – web development with python django framework." <https://www.edureka.co/blog/django-tutorial/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 52]
- [79] Django, "Writing views." <https://docs.djangoproject.com/en/2.2/topics/http/views/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 52]
- [80] Django, "Templateresponse and simpletemplateresponse." <https://docs.djangoproject.com/en/2.2/ref/template-response/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 52]
- [81] Django, "Templates." <https://docs.djangoproject.com/en/2.2/topics/templates/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 53]
- [82] A. Friends, "Xampp apache + mariadb + php + perl." <https://www.apachefriends.org/index.html>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 53]
- [83] phpMyAdmin, "Bringing mysql to the web." <https://www.phpmyadmin.net/>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 53]
- [84] Autodesk, "Fusion 360." <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 53]
- [85] Ultimaker, "Ultimaker cura." <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>. Acedido a: 12/maio/2021. [Quoted on p. 53]

- [86] M. Balboa, “Arduino rfid library for mfrc522.” <https://github.com/miguelbalboa/rfid>. Acedido a: 10/novembro/2021. [Quoted on p. 64]
- [87] Adafruit, “Adafruit-fingerprint-sensor-library.” <https://github.com/adafruit/Adafruit-Fingerprint-Sensor-Library>. Acedido a: 10/novembro/2021. [Quoted on p. 65]
- [88] Medicare, “Análises clínicas: como ler os resultados.” <https://www.medicare.pt/mais-saude/prevencao/analises-clinicas-interpretar-resultados>. Acedido a: 15/agosto/2021. [Quoted on p. 86]
- [89] T. Saúde, “Calculadora de imc (e peso ideal).” <https://www.tuasaude.com/calculadora/imc/>. Acedido a: 15/agosto/2021. [Quoted on p. 87]
- [90] T. E. of Encyclopaedia Britannica, “Archimedes screw.” <https://www.britannica.com/technology/Archimedes-screw>. Acedido a: 9/outubro/2021. [Quoted on p. 88]

