

Universidade de Évora – Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Mecatrónica

Trabalho de Projeto

**Desenvolvimento e Implementação de Equipamento Para
Descontaminação de Superfícies**

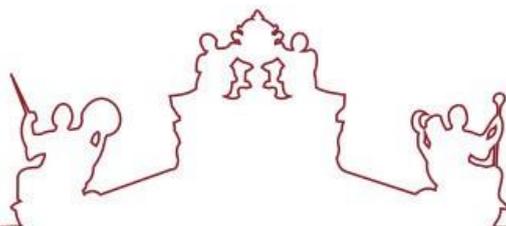
Ana Paula Batisti Lyrio

Orientador(es) / Rui Melício

Vítor Miguel Moleirinho Vieira

Évora 2021





Universidade de Évora – Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Mecatrónica

Trabalho de Projeto

**Desenvolvimento e Implementação de Equipamento Para
Descontaminação de Superfícies**

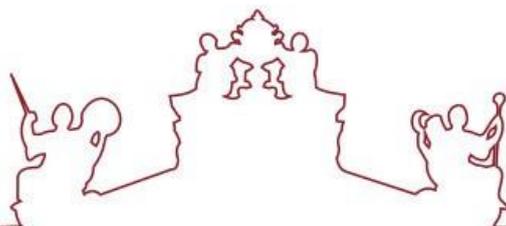
Ana Paula Batisti Lyrio

Orientador(es) / Rui Melício

Vítor Miguel Moleirinho Vieira

Évora 2021





O trabalho de projeto foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Fernando Manuel Janeiro (Universidade de Évora)

Radu Godina (Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologias (Arguente)

Vogais |

Rui Melício (Universidade de Évora) (Orientador)



Dissertação realizada em regime de coorientação sob orientação do

Doutor Rui Melício

Professor Associado com Agregação

Departamento de Engenharia Mecatrónica, Escola de Ciências e
Tecnologia

Universidade de Évora

e do

Engenheiro Vítor Miguel Moleirinho Vieira

Engenheiro de Desenvolvimento

Biodefender, Évora

Agradecimentos

Ao Professor Rui Melício, que aceitou orientar a minha dissertação de mestrado, revelando uma especial atenção no trato. Os seus conselhos e sugestões, bem como a permanente valorização do trabalho desenvolvido, foram determinantes para o resultado final alcançado.

À Empresa Biodefender, pela oportunidade de desenvolvimento desta dissertação de mestrado nas suas instalações.

À Professora Margarida Figueiredo, do Departamento de Química da Universidade de Évora, por toda a sua disponibilidade, ajuda e valiosas sugestões.

À minha mãe, Carla, e à minha irmã, Rita, por me apoiarem e incentivarem nesta caminhada. Ao meu pai, Nelcimar, que embora longe e ausente, está sempre presente e a meu lado.

Ao Luís, companheiro de todos os momentos, pelo seu amor e apoio.

Aos meus colegas, pela amizade ao longo desta etapa e por todos os momentos de partilha, incentivo e desabafo.

A todos os professores do curso de Mestrado pela transmissão de conhecimento científicos e pela contribuição no meu crescimento pessoal.

À Évora e a tudo o que Évora me trouxe.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para a concretização desta dissertação.

Resumo

O SARS-CoV-2 foi identificado, pela primeira vez na cidade de Wuhan, China, em dezembro de 2019, que veio, mais tarde a causar milhares de mortes, dando origem a uma crise na saúde pública em todo o mundo. O SARS-CoV-2 é uma infeção respiratória altamente transmissível através de contato próximo a doentes infetados. Em Portugal, o Serviço Nacional da Saúde recomendou nomeadamente a necessidade do aumento da higiene pessoal; a constante desinfeção das mãos; o uso obrigatório de máscaras ou viseiras; o distanciamento físico; a desinfeção das superfícies em contato com infetados. O SARS-CoV-2, assim como diversos outros vírus e bactérias, podem permanecer horas ou até mesmo dias em superfícies, desta forma foi recomendado a necessidade de constante desinfeção, i.e., esterilização destes meios, utilizando produtos químicos, nomeadamente o peróxido de hidrogénio e o álcool.

Neste trabalho é abordado o projeto de desenvolvimento de um equipamento de descontaminação de superfícies (com significativa passagem de público, hospitais, “*spacelabs*”) eficaz que, utilizando peróxido de hidrogénio, traz a certeza de que a eliminação de agentes patogénicos ou vírus é total, garantindo a redução na transmissão dos vírus. O desenvolvimento de um equipamento destes pode contribuir para minimizar os efeitos de novas pandemias de saúde pública que poderão surgir no futuro, salvando assim, milhares de vidas. Este trabalho é uma contribuição para a redução da transmissão do SARS-CoV-2.

Palavras-Chave

Desenvolvimento; Equipamento; Peróxido de Hidrogénio; Descontaminação; Desinfeção; Esterilização; Vírus; Spacelabs; SARS-CoV-2.

Abstract

Title: "Development and Implementation of Equipment for Surface Decontamination"

SARS-CoV-2 was first identified in the city of Wuhan, China, in December 2019, which later caused thousands of deaths, giving rise to a public health crisis around the world. SARS-CoV-2 is a highly transmissible respiratory infection through close contact with infected patients. In Portugal, the National Health Service recommended, namely, the need to increase personal hygiene; the constant disinfection of hands; mandatory use of masks or visors; the physical distance; the disinfection of surfaces in contact with the infected. SARS-CoV-2, as well as several other viruses and bacteria, can remain on surfaces for hours or even days, so the need for constant disinfection was recommended, i.e., sterilization of these media, using chemical products, namely hydrogen peroxide and alcohol.

In this work, the project for the development of an effective surface decontamination equipment (with significant passage of the public, hospitals, spacelabs) is addressed, using hydrogen peroxide brings the certainty that the elimination of pathogens was total, ensuring the reduction in virus transmission. The development of such equipment can prevent new pandemics that could arise, thus saving thousands of lives. This work is a contribution to the reduction of SARS-CoV-2 transmission.

Keywords

Development; Equipment; Hydrogen Peroxide; Decontamination; Disinfection; Sterilization; Virus; Spacelabs; SARS-CoV-2.

Índice

Agradecimentos.....	iv
Resumo	vi
Abstract	vii
Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xiv
Fórmulas Químicas.....	xv
Capítulo 1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos propostos.....	2
1.3. Metodologia de investigação	4
1.4. Estrutura da dissertação	4
Capítulo 2. Revisão da Literatura.....	7
2.1. Átomos, moléculas e compostos químicos.....	7
2.2. Perturbação do equilíbrio químico	9
2.2.1. Efeito da pressão.....	11
2.2.2. Efeito da temperatura	12
2.2.3. Efeito da concentração	12
2.3. Peróxido de hidrogénio	13
2.4. Atomização	16
2.4.1. Atomização do H ₂ O ₂	18
2.4.2. Influência do oxigénio puro	19
2.5. Métodos de descontaminação.....	20
2.5.1. <i>Hydrogen Peroxide Vapour</i>	21
2.5.2. Ozono.....	24
2.5.3. Radiação Ultravioleta.....	25
2.6. Critérios de eficácia.....	26
2.6.1. Indicador químico	27
2.6.2. Indicador biológico.....	28
2.6.3. Critério “ <i>Log Kill</i> ”.....	29
2.6.4. Nível ppm	30
2.7. Descontaminação de ambientes fechados	30

2.7.1.	Equipamento de descontaminação	31
2.7.1.1.	Conceito mecânico.....	32
2.7.1.2.	Descrição das etapas de investigação	33
Capítulo 3.	Caso de Estudo	36
3.1.	Apresentação da empresa: Biodefender	36
3.1.1.	Equipamento “ <i>Wall</i> ”	36
3.1.2.	Equipamento “ <i>Zen</i> ”	38
3.1.3.	Equipamento “ <i>Pro</i> ”	39
3.1.4.	Equipamento “ <i>Supreme</i> ”	40
3.2.	Criação do protótipo	41
3.2.1.	Circuito eletrónico	45
3.2.2.	<i>Design</i> e montagem mecânica.....	48
3.2.2.1.	Atomizador ultrassónico 10T45-10C	54
3.2.2.2.	Transformador LRS-350-48.....	57
3.2.2.3.	Ventilador KFL20060.....	59
3.2.3.	<i>Design</i> e montagem eletrónica	61
3.2.3.1.	<i>Raspberry Pi</i>	63
3.2.3.2.	Módulo 4 Relés 5V.....	64
3.2.3.3.	Sensor DTH11	66
3.2.4.	<i>Qt Creator</i>	69
3.2.4.1.	Programa desenvolvido.....	70
3.3.	Avaliação do protótipo	88
Capítulo 4.	Conclusões.....	109
Bibliografia	112

Índice de Figuras

Figura 1. Tabela periódica.	8
Figura 2. Representação do equilíbrio químico de um sistema.	10
Figura 3. Ciclo produtivo do peróxido de hidrogénio, através da auto-oxidação da antraquinona.....	14
Figura 4. Dois diferentes sistemas de atomização. A - disco rotativo. B - ultrassónico.	18
Figura 5. Processo de ionização do peróxido de hidrogénio.	23
Figura 6. Equipamento Wall.....	37
Figura 7. Funcionamento do equipamento de descontaminação por ozono.....	38
Figura 8. Equipamento Zen.....	38
Figura 9. Equipamento Pro.	39
Figura 10. Equipamento "Supreme".....	40
Figura 11. Cotas necessárias para a fabricação do equipamento.	49
Figura 12. Lista de material representativo do exterior do equipamento.	50
Figura 13. Base interior do equipamento para fixação dos atomizadores.	55
Figura 14. Desenho técnico do atomizador utilizado no equipamento.....	56
Figura 15. Representação do esquema de montagem dos atomizadores.....	57
Figura 16. Transformador com enrolamentos primário e secundário.	58
Figura 17. Desenho técnico do transformador utilizado no equipamento.	59
Figura 18. Montagem das chapas metálicas aos transformadores.....	59
Figura 19. Desenho técnico do ventilador utilizado no equipamento.....	60
Figura 20. Representação da montagem das ventoinhas.	61
Figura 21. Cotas para fabricação da caixa estanque.	62
Figura 22. Fixação da caixa estanque.	62
Figura 23. Características do Raspberry Pi 4 Model B.....	63
Figura 20,65 5. Conexão do display touchscreen com o Raspberry Pi 4.....	64
Figura 25. Saídas para ligações dos fios de um relé.....	65
Figura 26. Módulo de 4 relés de 5V.	66
Figura 27. Sensor de humidade e temperatura DTH11.....	66
Figura 28. Esquema de ligação. A - Saída dos pinos do Raspberry. B - Esquema de ligações.	68
Figura 29. Esquema de ligação de um relé, transformador e atomizador.....	68

Figura 30. Primeira janela, designada como "Menu".....	70
Figura 31. Início do programa do ficheiro "menu.h".....	71
Figura 32. Definição dos slots privados no ficheiro "menu.h"......	72
Figura 33. Definição da janela em "menu.cpp".....	72
Figura 34. Definição do logotipo e bandeiras da janela "Menu".	73
Figura 35. Programação das funções dos cliques dos botões.	73
Figura 36. Segunda janela, designada "menu_portuguese".....	74
Figura 37. Definição da janela "menu_portuguese.h".....	75
Figura 38. Definição da janela "menu_portuguese.cpp".....	76
Figura 39. Janela de login, designada por login_pt.	77
Figura 40. Definição do menu "login_pt.h".	77
Figura 41. Definição do menu "login_pt.cpp".....	78
Figura 42. Construção da programação da definição do teclado.	79
Figura 43. Definição do login do usuário.....	79
Figura 44. Aviso de erro na inserção do nome do usuário ou palavra-passe.	80
Figura 45. Janela de descontaminação, designada por zone_portuguese.	81
Figura 46. Janela de descontaminação, designada por zone_portuguese.	82
Figura 47. A - Representação da interrupção do ciclo. B – Representação do fim do ciclo.	82
Figura 48. Janela para criação de um novo ciclo.	83
Figura 49. Introdução de um novo ciclo. A - Criação de um ciclo "sala de aula" com 8 minutos. B - Utilização da opção "Ciclo" no menu de descontaminação.	84
Figura 50. Tabelas existentes no banco de dados, "cicle", "history" e "temhum"......	85
Figura 51. Tabela designada por "cicle"......	85
Figura 52. Tabela designada por "history".	86
Figura 53. Tabela designada por "temhum".	86
Figura 54. Definição do ficheiro de conexão.	87
Figura 55. Indicação da conexão com a base de dados.	88
Figura 56. Laboratório construído na sede da empresa Biodefender.....	90
Figura 57. Teste 1 - Concentração e temperatura em função do tempo.	92
Figura 58. Teste 2 - Concentração e temperatura em função do tempo.	93
Figura 59. Teste 4 - Concentração e saturação relativa ao longo do tempo.....	96
Figura 60. Comparação da variação de temperatura ao longo do tempo em todos os testes realizados.....	98

Figura 61. Comparação da variação da humidade relativa ao longo do tempo em todos os testes realizados.	99
Figura 62. Comparação da variação da saturação relativa ao longo do tempo em todos os testes realizados.	100
Figura 63. Evolução do valor da concentração dos testes realizados ao longo do tempo.	101
Figura 64. Teste 6 - Resultados obtidos da concentração e a sua linha de tendência ao longo do tempo.	103
Figura 65. Análise comparativa das concentrações em função do tempo nos testes 2, 6 e 7.	105
Figura 66. Indicadores químicos. A - antes do processo de descontaminação. B - após desinfeção.	105
Figura 67. Indicador biológico fornecido pelo LDB.	106
Figura 68. Ação do peróxido de hidrogénio no aço. A - Solução à 50%. B - Solução à 35%.	107

Índice de Tabelas

Tabela 1. Efeito das diversas concentrações de peróxido de hidrogénio	15
Tabela 2. Comparação entre os métodos VHP e iHP	24
Tabela 3. Classe dos indicadores conforme ISO 11140-4:2007	27
Tabela 4. Lista de componentes mecânicos e eletrónicos necessários	46
Tabela 5. Lista de material representativo do exterior do equipamento	54
Tabela 6. Parâmetros técnicos do atomizador ultrassónico 10T45-10C	55
Tabela 7. Características técnicas do transformador LRS-350-48	58
Tabela 8. Parâmetro técnicos do ventilador KFL20060	60
Tabela 9. Características técnicas do relé	65
Tabela 10. Informação técnica do sensor DTH	67
Tabela 11. Resultados obtidos no primeiro teste de descontaminação	91
Tabela 12. Resultados obtidos no segundo teste de descontaminação	93
Tabela 13. Resultados obtidos no terceiro teste de descontaminação	94
Tabela 14. Resultados obtidos no quarto teste de descontaminação	95
Tabela 15. Resultados obtidos no quinto teste de descontaminação	97
Tabela 16. Resultados obtidos no sexto teste de descontaminação	102
Tabela 17. Resultados obtidos no sétimo teste de descontaminação	104

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

ADN – Ácido Desoxirribonucleico

CAD – Computer-Aided Design

COVID – 19 – Coronavirus Disease 2019

DW – Deutsche Welle

EPA – Environmental Protection Agency

FDA – Food and Drug Administration

HC – High Concentration

HDMI – High-Definition Multimedia Interface

HPV – Hydrogen Peroxide Vapour

iHP – Ionized Hydrogen Peroxide

IoT – Internet of Things

ISO – International Organization for Standardization

ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade

JHU CSSE – Center for Systems Science and Engineering, Johns Hopkins University

K_c – Constante de Equilíbrio

LC – Low Concentration

LDB – Laboratório de Defesa Biológica

LED – Light-Emitting Diode

NA – Normalmente Aberto

NF – Normalmente Fechado

OMS – Organização Mundial de Saúde

p – Pressão

PME – Pequenas e Médias Empresas

ppm – Parte Por Milhão

Q – Quociente de Reação

RAM – Random Access Memory

SARS – CoV – 2 – Coronavirus da Síndrome Respiratória Aguda Grave 2

SNS – Serviço Nacional de Saúde

UV – Ultravioleta

USB – Universal Serial Bus

VHP – Vaporized Hydrogen Peroxide

2D – 2 Dimensões / bidimensional

3D – 3 Dimensões / tridimensional

Fórmulas Químicas

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ – Nitrato de Bário

BaO_2 – Peróxido de Bário

$\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_2$ – Antraquinona

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ – Glicose

HNO_3 – Ácido Nítrico

H – Hidrogénio

H_2 – Hidrogénio diatómico

H_2O – Água

H_2O_2 – Peróxido de Hidrogénio

NaCl – Cloreto de Sódio

O – Oxigénio atómico

O_2 – Oxigénio diatómico

O_2^{2-} – Anião Superóxido

$\text{OH}\cdot$ – Radical Hidroxilo

Capítulo 1. Introdução

Neste capítulo é apresentado o enquadramento do tema proposto, i.e., do projeto de desenvolvimento de um equipamento de descontaminação de superfícies e do tema subjacente a este; demonstrando a importância do conteúdo enunciado na atualidade. Desta forma, é descrito os objetivos do problema proposto e o contexto em que este foi estudado. Por fim, é apresentado a estrutura resumida e respetiva organização dos capítulos que se seguem.

1.1. Enquadramento

Em dezembro de 2019, o mundo deparou-se com o início de uma nova pandemia que viria, mais tarde, afetar não só o dia-a-dia comum da população como toda economia mundial.

O SARS-CoV-2, do inglês *Coronavirus Disease 2019*, é uma doença respiratória infecciosa causada pelo coronavírus, síndrome respiratória aguda grave 2 (SARS-CoV-2). Foi identificado pela primeira vez no final do ano de 2019 na cidade de Wuhan (Hubei), China e desde então é transmitida por todo o mundo. Segundo dados fornecidos pelo *JHU CSSE (Center for Systems Science and Engineering, Johns Hopkins University)*, após pouco mais 11 meses do início deste surto, já haviam sido registados mais de 47 555 607 casos confirmados, cerca de 1 216 173 fatalidades e aproximadamente 31 508 068 pessoas curadas (Johns Hopkins, 2020) .

Afetando diretamente a saúde pública, o SARS-CoV-2 afeta também, indiretamente, a economia global, uma vez que são impostas restrições sociais de modo a evitar novos possíveis contágios. De acordo com a *DW (Deutsche Welle)*, em abril de 2020 as bolsas de valores mundiais caíram cerca de 30%, a taxa de desemprego em todo o mundo cresceu subitamente e as empresas reportaram uma grande redução no volume de negócios (Sullivan, 2020).

Esta doença infecciosa, assim como outras doenças infecciosas, além de ser transmitida através do contacto próximo com pessoas contaminadas, pode também permanecer dias em superfícies e objetos, possibilitando novas fontes de contágio (Merselli, 2020). O SNS (Serviço Nacional de Saúde) recomendou medidas preventivas para evitar o aumento do número de transmissões do vírus, sendo nomeadamente, o

distanciamento social, a higiene pessoal e ambiental algumas das medidas mais aconselhadas pelo SNS (Serviço Nacional de Saúde, 2020).

Para além da utilização de máscaras e a constante higienização das mãos, a desinfecção de superfícies ou espaços com significativa passagem de público, hospitais, spacelabs que possam estar contaminados com qualquer tipo de vírus é essencial para evitar que o mesmo se transmita mais rapidamente. Hospitais, hotéis, centros comerciais e restaurantes são exemplos de espaços que necessitam de constante desinfecção. A utilização de produtos químicos para esterilizar as superfícies é cada vez mais recorrente. Pulverizar superfícies com o H_2O_2 , popularmente conhecido como água oxigenada, é uma solução eficaz na destruição do vírus (Conceição, et al., 2020). O peróxido de hidrogénio, trata-se de uma fórmula química instável que quando perturbado, se decompõe em água (H_2O) e oxigénio molecular (O_2). O oxigénio molecular tem poder de desinfetante oxidante e acaba por matar bactérias e vírus anaeróbicos (que não sobrevivem à presença de oxigénio).

Para prevenir novas pandemias no setor da saúde pública, surge a necessidade de estudar, conceber e desenvolver equipamentos capazes de efetuar a esterilização ou descontaminação dos locais, principalmente de espaços públicos, onde a afluência do número de pessoas é maior. A conceção de equipamentos autónomos programados para efetuarem a descontaminação desses ambientes, utilizando o peróxido de hidrogénio como composto químico, é uma mais-valia para uma sociedade mais higienizada.

Ao implementar este novo equipamento nos ambientes mais propícios e juntamente com medidas de higiene pessoal, é possível assim travar a propagação de vírus e bactérias, evitando novas pandemias e outro possível novo colapso da economia global.

1.2. Objetivos propostos

O pressuposto que desencadeou a realização deste projeto foi construído a partir de uma preocupação atual com o SARS-CoV-2. Este projeto envolveu o estudo, conceção e implementação do modelo de um equipamento automatizado para a descontaminação por peróxido de hidrogénio capaz de desinfetar ambientes com volumes de até 100 m^3 . Assim, o projeto centrou-se no seguinte problema/questão de

investigação: dimensionar, implementar um equipamento automatizado de descontaminação adequado a ambientes fechados, nomeadamente, em ambientes com significativa passagem de público, como hospitais e *space labs*.

O projeto foi desenvolvido por uma PME (Pequena e Média Empresa) da indústria (empresa) que opera na área da bio descontaminação. A empresa encontra-se, de momento, em expansão inicial, tendo projetos inovadores e aliciantes para o setor biotecnológico, focados em sistemas capazes de destruir microrganismos patogénicos.

A conceção de um equipamento requer uma ideia útil, que permita a resolução de um problema social, mas também que preserve a vida das pessoas. A ideia de um equipamento capaz de desinfetar ambientes fechados é, atualmente, uma solução eficaz para o combate às doenças infecciosas. Apresentada a ideia na qual se baseou este projeto, o principal objetivo proposto é o dimensionamento, implementação e automatização do mesmo.

Para tal, definiu-se diversas alternativas que influenciam na eficácia da descontaminação dos espaços, como o tipo de composto químico a utilizar e quais os componentes eletrónicos necessários para o correto funcionamento do equipamento. A implementação deste equipamento envolveu a utilização de componentes disponíveis comercialmente, i.e., *Commercial Off-The-Shelf* ou *Commercially Available Off-The-Shelf* (COTS). Os COTS utilizados permitem a criação de soluções para indústrias inteligentes, nomeadamente a Internet das Coisas (IoT). A IoT está cada vez mais presente nas indústrias e está cada vez mais disponível (Batista, et al., 2014), (Batista, et al., 2017), (Cunha, et al., 2021).

O conceito proposto por esta empresa tornou-se um estudo de caso muito interessante, pois a criação de um equipamento de raiz pode-se tornar bastante complexo, envolvendo diversos conceitos de mecânica, eletrónica e até mesmo da biotecnologia.

Uma empresa em expansão necessita de uma ideia inovadora e eficiente e no meio de uma crise da economia mundial, é necessário analisar em pormenor os detalhes, de forma a minimizar, o custo de produção do equipamento. Todos estes fatores foram considerados e avaliados até ser possível construir um protótipo do equipamento adequado à realidade produtiva da empresa e assim realizar o objetivo proposto neste projeto.

1.3. Metodologia de investigação

O objetivo deste projeto é dimensionar e fabricar um equipamento capaz de descontaminar ambientes através da utilização do peróxido de hidrogénio. Trata-se de um projeto desenvolvido em ambiente industrial, sendo que a natureza do mesmo é do tipo investigação aplicada à indústria, uma vez que, o objetivo é desenvolver um equipamento e posteriormente o processo de fabrico para atingir o objetivo da empresa.

A abordagem utilizada é do tipo investigativa-mista. Esta relaciona a abordagem quantitativa e a abordagem qualitativa. Neste caso, este projeto centrou-se em obter novos dados e se desenvolver uma nova teoria a partir de uma teoria já pré-existente.

Para a natureza da investigação foi utilizada o tipo estudo explicativo, que é caracterizado por recorrer a análise complexas de dados qualitativos obtidos de diversas fontes e perante diversos procedimentos.

A principal estratégia utilizada neste projeto é do tipo investigação-ação, caracterizada pela natureza iterativa do processo. Este tipo de método pode ser descrito como uma metodologia que se baseia em fundamentos, onde o próprio investigador se insere dentro da própria investigação, com o objetivo de transferir conhecimentos.

Os dados obtidos e utilizados são do tipo qualitativo. O método que utiliza este tipo de dados trata-se de casos em que não existem hipóteses prévias ou conceitos pré-concebidos e só após a observação é que são formuladas hipóteses.

1.4. Estrutura da dissertação

A estrutura deste trabalho resume-se em quatro capítulos. O seguinte capítulo aborda conceitos relevantes relacionados ao equipamento a ser desenvolvido bem como uma contextualização e explicação dos mesmos.

No terceiro capítulo, apresenta-se o caso de estudo, a empresa e todas as informações relevantes acerca desta, assim como o equipamento de descontaminação de ambientes desenvolvido. Explicam-se todas as fases dos procedimentos realizados até se atingir o objetivo deste trabalho de projeto e utilizam-se alguns exemplos para explicar o seu funcionamento.

No último capítulo, o quarto, apresentam-se todas as conclusões obtidas e o contributo deste projeto desenvolvido para a empresa em questão.

Capítulo 2. Revisão da Literatura

Neste capítulo serão abordados todos os temas e conceitos relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho da revisão da literatura. Assim, está dividido em quatro principais tópicos, em que o primeiro introduz os conceitos pertinentes acerca da definição e da formação de um composto químico (secção 2.1 a 2.2); o segundo refere-se ao peróxido de hidrogénio e sua atomização (secção 2.3 a 2.4). O terceiro explica os processos de descontaminação e os efeitos desse processo (secção 2.5 a 2.6). O quarto e último tópico, refere-se aos procedimentos necessários para a realização da descontaminação de ambientes fechados utilizando o equipamento desenvolvido (secção 2.7).

2.1. Átomos, moléculas e compostos químicos

Em meados do século V a.C., o filósofo grego *Demócrito de Abdera* (ca. 460 a.C. – 370 a.C.) afirmou que “para explicar a existência do mundo tal como o conhecemos, a divisão da matéria não pode ser infinita, isto é, que há um limite indivisível, o átomo” (Onfray, 2008). Atualmente, o termo átomo representa uma unidade básica de matéria que consiste em um núcleo central de carga elétrica positiva, os prótons, envolto por uma nuvem de elétrons de carga negativa. (Araújo, 2020). Do mesmo modo que prótons e elétrons formam um átomo, um grupo de átomos podem estar ligados entre si, através de ligações químicas, formando assim uma molécula.

É denominado por elemento químico um conjunto de átomos que possuem o mesmo número de prótons em seu núcleo e que não se podem decompor. A tabela periódica representa a distribuição desses elementos ordenados pelos seus números atômicos. A tabela fornece uma estrutura útil para analisar o comportamento químico de cada elemento químico e as suas propriedades físicas e químicas (Araújo, 2020). Atualmente, são conhecidos 118 elementos químicos, dos quais 94 se encontram na natureza e 24 são elementos sintéticos, ou seja, são produzidos artificialmente em laboratórios. A Figura 1 representa esta organização dos elementos químicos na tabela periódica.

1 H hidrogénio 1,008																	2 He hélio 4,0026						
3 Li lítio 6,94	4 Be berílio 9,0122																	5 B boro 10,81	6 C carbono 12,011	7 N nitrogénio 14,007	8 O oxigénio 15,999	9 F flúor 18,998	10 Ne neónio 20,180
11 Na sódio 22,990	12 Mg magnésio 24,305																	13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,085	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06	17 Cl cloro 35,45	18 Ar argónio 39,948
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,867	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromio 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(3)	30 Zn zinco 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsénio 74,922	34 Se selénio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904	36 Kr criptónio 83,798(2)						
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,906	40 Zr zircónio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdénio 95,95	43 Tc tecnécio [98]	44 Ru ruténio 101,07(2)	45 Rh ródio 102,91	46 Pd paládio 106,42	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,41	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimónio 121,76	52 Te telúrio 127,60(3)	53 I iodo 126,90	54 Xe xenónio 131,29						
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57-71 Lantanídeos	72 Hf háfnio 178,49(2)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungsténio 183,84	75 Re rénio 186,21	76 Os ósmio 190,23(3)	77 Ir irídio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	81 Tl tálio 204,38	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polónio [209]	85 At astato [210]	86 Rn radónio [222]						
87 Fr frâncio [223]	88 Ra rádio [226]	89-103 Actinídeos	104 Rf rutherfordio [261]	105 Db dúbnio [268]	106 Sg seabórgio [269]	107 Bh bohrio [278]	108 Hs hássio [285]	109 Mt meitnério [278]	110 Ds darmstádio [281]	111 Rg roentgénio [281]	112 Cn copernício [285]	113 Nh nihónio [286]	114 Fl fleróvio [289]	115 Mc moscóvio [288]	116 Lv livermório [293]	117 Ts tenessio [294]	118 Og oganessónio [294]						
57 La lantânio 138,91	58 Ce cério 140,12	59 Pr praseodímio 140,91	60 Nd neodímio 144,24	61 Pm promécio [145]	62 Sm samário 150,36(2)	63 Eu europólio 151,96	64 Gd gadolínio 157,25(3)	65 Tb térbio 158,93	66 Dy disprósio 162,50	67 Ho hólmio 164,93	68 Er érbio 167,26	69 Tm túlio 168,93	70 Yb itérbio 173,05	71 Lu lutécio 174,97									
89 Ac actínio [227]	90 Th tório 232,04	91 Pa protactínio 231,04	92 U urânio 238,03	93 Np netúnio [237]	94 Pu plutónio [244]	95 Am amerício [243]	96 Cm cúrio [247]	97 Bk berquélio [247]	98 Cf califórnio [251]	99 Es einsténio [252]	100 Fm fémio [257]	101 Md mendelévio [288]	102 No nobélio [289]	103 Lr lauréncio [262]									

Não metais
 Metais alcalinos
 Semimetais
 Outros metais
 Lantanídeos
 Gases nobres
 Metais alcalino-terrosos
 Halogénios
 Metais de transição
 Actinídeos

número atómico
 símbolo químico
 nome
 peso atómico
(ou número de massa do isótopo mais estável)

Figura 1. Tabela periódica.

Fonte: Adaptado de (Batista, 2021).

A palavra composto refere-se a um termo que representa a combinação de várias partes que compõem um todo. Um composto químico é uma substância constituída por elementos químicos ligados entre si, que podem ser decompostas em substâncias mais simples por meio de reações químicas. Os elementos que constituem uma substância composta perdem as suas propriedades características elementares quando se tornam parte de um composto (Portal São Francisco, 2020).

Os compostos químicos são identificados através de representações denominadas fórmulas químicas. As fórmulas, por sua vez, descrevem a proporção dos átomos de cada elemento na formação da molécula. A fórmula química da água, por exemplo, revela é constituído por dois átomos de hidrogénio (H) para cada um átomo de oxigénio (O).

Estes tipos de substâncias podem ser classificados como puras, caso se comportem sempre da mesma maneira e possuam características definidas, ou podem ser classificadas como misturas. As misturas, por sua vez, podem ser subdivididas em

homogéneas ou heterogéneas. Misturas homogéneas são aquelas em que, quando observadas ao olho nu, aparentam ser uma só substância. Como é o caso da água do mar que visivelmente apresenta um aspeto de um só elemento, porém está formada por moléculas de água e diversos iões provenientes dos sais minerais dissolvidos. Por sua vez, misturas heterogéneas formam mais que uma fase ao olho nu, como é o caso de uma mistura de óleo de cozinha com água, onde é perfeitamente visível uma camada de óleo sobre uma camada de água (Spencer Lima, 2013).

Diariamente, inúmeras são as reações químicas que ocorrem espontaneamente ao nosso redor. Ao consumirmos alimentos ou água, por exemplo, o nosso sistema digestivo produz substâncias capazes de transformar os materiais ingeridos em nutrientes necessários para o correto funcionamento do organismo. Dito isto, é possível afirmar que a química, ciência que estuda a natureza das matérias, suas propriedades e transformações, está presente no cotidiano de qualquer pessoa e que quanto maior for a sua percepção, maior será a qualidade de vida

2.2. Perturbação do equilíbrio químico

Como visto na seção 2.1, para se obter um composto químico é necessário haver uma transformação da matéria, em que pelo menos uma ligação química é criada ou desfeita. Estes fenómenos são denominados como reações químicas e estas podem ser consideradas reversíveis ou irreversíveis. As reversíveis, teoricamente podem ocorrer nos dois sentidos, quando os reagentes se transformam em produtos e quando os produtos se transformam em reagentes. Porém, certas reações, como a de combustão por exemplo, são consideradas do tipo irreversível, ou seja, os reagentes são convertidos na totalidade em produtos e não se observa o contrário ocorrer.

As reações químicas também podem ser classificadas como endotérmicas ou exotérmicas, consoante a sua capacidade de absorver ou libertar energia para o ambiente. Reações do tipo endotérmicas ocorrem quando a energia total (entalpia) dos seus produtos é maior que a de seus reagentes, absorvendo assim energia sob a forma de calor do meio. Por outro lado, uma reação exotérmica liberta energia sob a forma de calor para o meio envolvente, ou seja, a entalpia final dos seus produtos é menor que a de seus reagentes.

Quando as moléculas de um elemento A se juntam com as moléculas de um segundo elemento B, ocorre uma reação química formando assim, os elementos C e D apresentados em 1.



Este fenómeno atinge o seu equilíbrio quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam e as concentrações dos reagentes e produtos permanecem inalteradas, ou seja, constantes ao longo do tempo. A Figura 2 representa a tendência de equilíbrio químico de um composto ao longo do tempo.

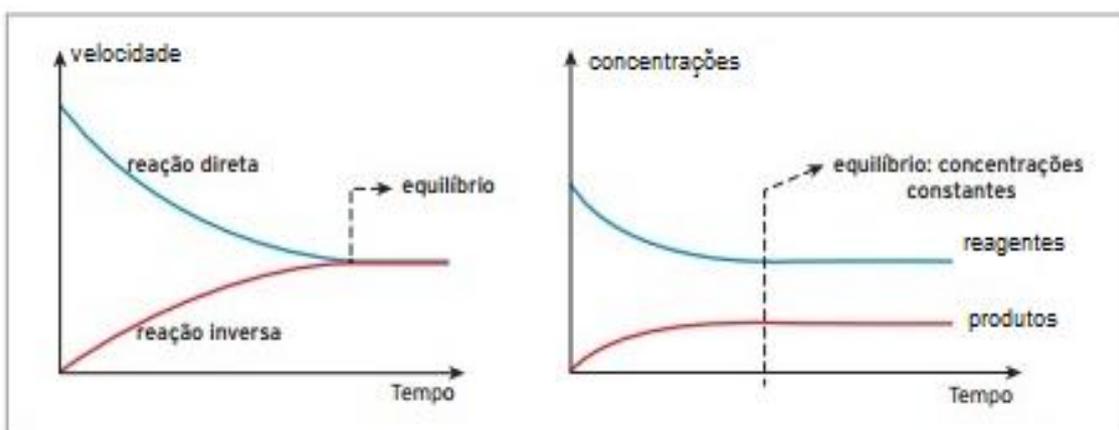


Figura 2. Representação do equilíbrio químico de um sistema.

Fonte: Adaptado de (Paula, 2015).

Analisando a Figura 2 da velocidade e das concentrações em função do tempo e levando em conta o exemplo descrito em 1, primeiramente, a velocidade da reação direta é máxima e da reação inversa é zero, uma vez que só existem concentrações de reagentes (A,B) e ainda não foram formados produtos (C,D). À medida que a reação ocorre, a concentração de A e B diminuem, formando C e D, assim, a velocidade da reação direta diminui, aumentando a velocidade da reação inversa. Dá-se o equilíbrio químico desta reação no instante em que as velocidades se igualam e as concentrações permanecem constantes.

Uma vez atingido o equilíbrio químico, a reação química continua a ocorrer nos dois sentidos, porém com a mesma velocidade. A constante de equilíbrio, K_c , relaciona a quantidade de matéria que reagiu com a quantidade de matéria inicial no sistema, no momento do equilíbrio. Quanto maior for o valor de K_c , menor é o valor de reagentes e

maior a quantidade de produtos. Assim como para um menor valor da constante de equilíbrio, maior a concentração de reagentes e menor a de produtos.

De facto, o equilíbrio de uma reação química pode ser alterado por diversas modificações. O Princípio de Le Chatelier, postulado pelo químico francês Henri Louis Le Chatelier (1850 – 1936) estabelece que “se for imposta uma alteração de concentrações, de temperatura ou de pressão, a um sistema químico em equilíbrio, a composição do sistema deslocar-se-á no sentido de contrariar a alteração a que foi sujeita” (Chatelier, 1888).

Este princípio permite prever o comportamento que um sistema adota ao sofrer perturbações externas. Estas perturbações, por sua vez, referem-se a alterações das condições de pressão, temperatura e/ou na alteração da concentração de uma ou mais substância presentes no sistema.

2.2.1. Efeito da pressão

A ação que uma ou mais forças exercem sobre um determinado espaço, podendo este ser líquido, gasoso ou mesmo sólido, é chamada pressão (p). Tipicamente, a pressão corresponde a uma grandeza escalar definida por uma força aplicada em uma determinada unidade de área. Uma vez inversamente proporcional, para um maior valor de pressão, é necessário exercer uma grande força numa área ou apenas exercer uma força numa área pequena.

Em química, essa definição pode ser traduzida como a força exercida pela colisão das partículas dos gases contra as paredes do recipiente que os contém. Trata-se de uma propriedade intrínseca a qualquer sistema, ou seja, não depende da quantidade de substância presente. Assim, para um aumento da pressão, é necessário haver uma diminuição de volume de um gás, causando o aumento do número de partículas por unidade de volume. Esta variação de volume provoca uma mudança desigual nas pressões parciais de reagentes e produtos, alterando a condição de equilíbrio do sistema (Fogaça, 2018).

Ou seja, a diminuição do volume do gás provoca um aumento na pressão e uma vez afetado o equilíbrio químico, todo o sistema responderá a essa perturbação de modo a diminuir a pressão do sistema. De igual forma acontece quando há uma diminuição na pressão, o sistema tende a aumentar o número de partículas por unidade de volume.

Esta alteração de pressão pode favorecer o sentido direto ou inverso do sistema, dependendo das espécies presentes e da estequiometria da reação.

2.2.2. Efeito da temperatura

Macroscopicamente, a temperatura pode ser definida através de conceitos fornecidos pela termodinâmica, onde se caracteriza como um parâmetro físico associado às sensações de frio e quente. Neste contexto, a diferença de temperatura é responsável pela transferência de energia térmica na forma de calor entre dois ou mais sistemas. Ou seja, existindo uma diferença de temperatura, o calor do sistema em temperatura maior é transmitido (através da condução, convecção ou irradiação térmica) para o sistema em temperatura menor, até se atingir o equilíbrio térmico.

Olhando para uma análise microscópica, a temperatura é uma grandeza física que mede a energia cinética de cada partícula que compõe um sistema. Isto é, um aumento na temperatura de um sistema acarreta um aumento da energia térmica. Este aumento, por sua vez, corresponde à transmissão direta da agitação térmica entre os átomos e moléculas do sistema, aumentando a velocidade dos mesmos. O movimento destas partículas fazem alterar o equilíbrio químico de um sistema.

Considerando uma reação endotérmica, o aumento de temperatura do meio vai favorecer o sistema, uma vez que este absorve calor. Assim, o equilíbrio vai ser deslocar no sentido direto, aumentando a quantidade de produtos e, conseqüentemente, diminuindo a concentração de reagentes (Elias, et al., 2019).

Caso considerado uma reação exotérmica, a diminuição de temperatura do meio irá favorecer a evolução no sentido inverso da reação, formando reagentes e diminuindo a concentração de produtos.

2.2.3. Efeito da concentração

Como referido no início seção 2.2, um sistema encontra-se em equilíbrio químico quando as concentrações de reagentes e produtos permanecem constantes e inalteradas ao longo do tempo. O quociente de reação (Q) é utilizado para prever a direção que o sistema percorre para qualquer condição de alteração do meio. Para a sua determinação, é utilizado o mesmo procedimento como o utilizado para o cálculo

da constante de equilíbrio, porém, neste caso em particular, considera-se que o sistema em análise não está em equilíbrio químico.

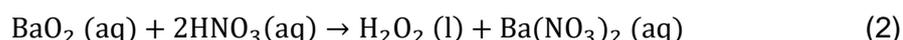
Para valores de Q inferiores a $\sim 10^{-3}$, o sistema em questão possui mais reagentes do que produtos. Caso contrário, para valores superiores a $\sim 10^3$, a reação contém mais produtos do que reagente. Diz-se ainda, que para valores do quociente de reação compreendidos entre $\sim 10^{-3}$ e $\sim 10^3$, o sistema encontra-se em equilíbrio químico, uma vez que possui quantidades significativas tanto de produtos como de reagentes.

Assim, se a constante de equilíbrio for comparada com o quociente de reação, é possível prever a evolução de um sistema, até que este atinja o seu equilíbrio. Para valores de $Q = K_c$ conclui-se que o sistema se encontra em equilíbrio químico.

Quando o valor do quociente de reação é inferior ao valor da constante de equilíbrio, ($Q < K_c$), prevê-se uma evolução no sentido direto do sistema, consumindo mais reagentes e, por isso, formando mais produtos. Analogamente, para um valor de $Q > K_c$, diz-se que o sistema vai evoluir no sentido indireto da reação, formando mais reagentes através do consumo dos produtos. Se houver uma alteração no equilíbrio de um sistema aumentando a concentração de reagentes ou diminuindo a concentração de produtos, ($Q < K_c$), o sistema irá responder de modo a consumir reagentes e a formar produtos (reação direta). Caso contrário, uma diminuição da concentração de reagentes ou um aumento da concentração de produtos, torna o sistema do tipo $Q > K_c$, favorecendo as reações no sentido inverso.

2.3. Peróxido de hidrogénio

Em 1818, em Paris (França), o químico Louis Jacques Thénard (1777 – 1857) após realizar uma experiência com peróxido de bário (BaO_2) e ácido nítrico (HNO_3) através da reação descrita em 2 obteve, pela primeira vez, o peróxido de hidrogénio.



O peróxido de hidrogénio, comercialmente também conhecido como água oxigenada, é um líquido viscoso, encontrado no estado líquido e incolor à temperatura ambiente (Vargas, 2020). Trata-se de um poderoso oxidante e que pode sofrer combustão espontânea quando em contacto com matéria orgânica. O H_2O_2 pertence à classe dos

peróxidos (grupo que possuem em sua estrutura o elemento do oxigênio no estado de oxidação (-1) e é caracterizado por conter uma ligação entre o hidrogênio e o oxigênio.

Possuindo como subproduto de suas oxidações a água, o H_2O_2 é considerado um dos oxidantes químicos mais ecológicos e mais eficientes, devido ao seu elevado teor em oxigênio ativo. Uma vez que o peróxido de hidrogênio não é encontrado na natureza, a sua produção é sintética. Atualmente, a produção do peróxido de hidrogênio é obtida pelo processo designado de auto-oxidação da antraquinona (composto de fórmula química $C_{14}H_{10}O_2$). Este processo envolve a hidrogenação de antraquinona produzindo antrahidroquinona, que quando reage com o oxigênio, produz peróxido de hidrogênio e antraquinona original (Ferreira, 2019).

A Figura 3 apresenta o processo de produção do peróxido de hidrogênio.

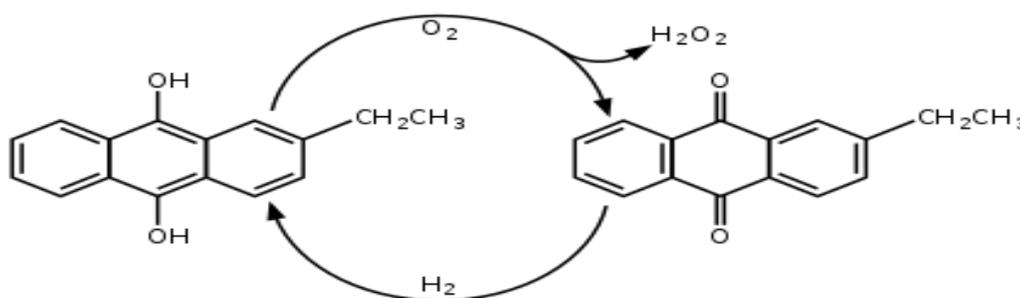


Figura 3. Ciclo produtivo do peróxido de hidrogênio, através da auto-oxidação da antraquinona.

Fonte: Adaptado de (Ferreira, 2019).

Apesar do processo referido na Figura 3 ser o mais seguro para a produção de H_2O_2 , é possível obter peróxido de hidrogênio através da síntese direta dos gases oxigênio e hidrogênio, porém este procedimento requer um cuidado redobrado, uma vez que a mistura direta dos gases O_2 e H_2 é potencialmente explosiva.

A água oxigenada, em concentrações até 10% (solução com 10% de H_2O_2 e 90% de H_2O), é popularmente vendida em supermercados e farmácias, para uma grande diversidade de usos. Utilizada para desinfecção cutânea, o H_2O_2 é também recomendado para a descontaminação de vegetais, uma vez que ajuda a remover as bactérias, mantendo os alimentos frescos por mais tempo.

Além do seu uso doméstico, o peróxido de hidrogênio é frequentemente utilizado em hospitais e spacelabs como desinfetante local, eliminando agentes nocivos à saúde. As infecções hospitalares, principalmente provocadas por microrganismos patogênicos,

como as bactérias e vírus, podem ser evitadas caso se garanta que todas as superfícies de um quarto, por exemplo, estejam descontaminadas. Dependendo das concentrações das soluções de peróxido de hidrogénio, estas são classificadas em função das classes de risco (Mattos, Shiraish, Braz, & Fernandes, 2003). Os Efeito das diversas concentrações de peróxido de hidrogénio são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Efeito das diversas concentrações de peróxido de hidrogénio

Concentração	Classe	Efeitos	Aplicações
< 8%	N.A.	Podem causar irritações nos olhos.	Creme de pasta dental (0,5%); Solução aquosa para limpeza de lentes de contacto (2%); Detergente para branqueamento (5%); Loções para tratamento capilar (7,5%).
8% - 27,5%	1	Em caso de incêndio, apresenta riscos de queima e explosão, uma vez que facilmente fornece oxigénio. Podem causar danos temporários.	Utilização para fim industrial.
27,5% - 52%	2	Quando expostas por um pequeno intervalo de tempo, podem causar sérias danos residuais ou temporários. Quando em contacto com a pele, podem causar queimaduras.	Utilização em processos químicos para fins industriais.
52% - 91%	3	Quando expostas, podem levar à morte. Altamente corrosivo.	Processos químicos especiais.
> 91%	N.A.	Podem levar à reação explosiva, ignição espontânea de combustíveis e é altamente reativa.	Utilizada como propulsores de foguetes.

Fonte: (Mattos, Shiraish, Braz, & Fernandes, 2003).

A agência reguladora norte-americana, a *FDA (Food and Drug Administration)*, classifica o peróxido de hidrogénio seguro para os humanos quando em baixas doses. Adverte ainda que, quando usado em concentrações mais elevadas, pode causar irritações nas vias aéreas, queimaduras ou até mesmo danos aos órgãos humanos. É recomendável o uso de óculos, máscaras e roupas apropriadas aquando do uso da água oxigenada em elevadas concentrações.

2.4. Atomização

Atomizar é sinónimo de pulverizar, desintegrar, dividir e separar (Johnson Matthey, 2021). É uma palavra com origem no termo átomo, que consiste na ação de reduzir a pequenas partículas. O termo atomização refere-se, resumidamente, à transformação de uma suspensão aquosa de partículas sólidas em partículas secas, a partir da pulverização.

É uma técnica utilizada em processos industriais, no qual uma substância líquida é submetida a uma perturbação de superfície suficientemente alta, de modo a que esta se divida essencialmente em pequenas partículas, como uma névoa.

Atualmente, existem diversos tipos de processos de atomização, sendo estes classificados com base no modo de transferência de energia usado para a divisão do líquido em partículas atómicas. Os mais populares e convencionais são os atomizadores mecânicos, que podem ser classificados com os seguintes tipos:

- a) Atomizadores de disco giratório: consistem em um disco que trabalha a elevada velocidade de rotação, no qual é bombeado o líquido a ser atomizado. Devido a força centrífuga, a solução aquosa é ejetada do atomizador formando uma fina camada que se divide em partículas de diversos tamanhos. O tamanho das partículas após atomização é inversamente proporcional à velocidade e ao diâmetro do disco.
- b) Atomizadores por pressão: a solução aquosa é forçada por uma bomba a passar por um orifício. A pressão com qual o líquido é ejetado é convertida em energia cinética e a substância sai em forma de um fino filma com uma alta velocidade que, posteriormente, se desintegra em partículas. A quantidade de partículas atomizada está limitada pelo tamanho do orifício do bico, sendo proporcional à pressão aplicada.

- c) Atomização de dois fluídos: consiste na interação do líquido a ser atomizado com um segundo fluido injetado a alta velocidade, sendo este último em geral, ar comprimido. A razão entre os fluxos de ar e de líquido definem o tamanho das gotas.

Os atomizadores mecânicos requerem mais energia para a geração da névoa e não têm total controlo sobre o tamanho das partículas, característica que pode ser especialmente importante para aplicações ou produtos onde a atividade depende da distribuição de tamanho obtido no processo. Assim, uma das abordagens disponíveis para a obtenção de uma distribuição de partículas com um tamanho específico são os atomizadores ultrassónicos.

- d) Atomização ultrassónica: baseia-se no uso da irradiação ultrassónica como meio de transferência de energia para induzir a atomização através da vibração de uma camada de líquido com um cristal piezoelétrico. A passagem da solução através de uma superfície que vibra a frequências ultrassónicas produz partículas bastante pequenas (Johnson Matthey, 2021).

Os atomizadores ditos convencionais utilizam apenas uma fração da energia fornecida para atomizar o líquido, enquanto a maior parte desta é convertida em energia cinética. Por outro lado, os atomizadores ultrassónicos podem ser mais eficientes em termo de energia, uma vez que utilizam baixa energia vibracional para a geração de micropartículas. Além de que, através da atomização ultrassónica, as partículas geradas possuem uma distribuição de tamanho relativamente uniforme, enquanto em todos os outros tipos de atomizadores, não é possível haver o controlo do tamanho das partículas. Os dois diferentes sistemas de atomização são apresentados na Figura 4, sendo A do tipo disco rotativo e B ultrassónico.



Figura 4. Dois diferentes sistemas de atomização. A - disco rotativo. B - ultrassónico.

2.4.1. Atomização do H_2O_2

O peróxido de hidrogénio é atualmente uma das substâncias mais procuradas para as atividades de descontaminação, devido ao seu efeito bioativo na eliminação de bactérias. Como visto na secção 2.4., o conceito de atomização consiste na transformação de uma substância líquida em uma névoa, com pequenas partículas, dessa mesma substância.

No início dos anos 90, uma empresa norte-americana desenvolveu e implementou, pela primeira vez, a tecnologia de atomização do peróxido de hidrogénio com o objetivo de esterilizar equipamentos médicos, como os endoscópios, entre outros. O peróxido de hidrogénio possui as ligações entre as moléculas bastante fracas e por isso quando atomizado, decompõe-se rapidamente em uma névoa carregada de moléculas de água e de oxigénio. Em 3 é representada a partição da molécula de H_2O_2 em micropartículas mais pequenas.



Uma vez formada a névoa de peróxido de hidrogénio, a descontaminação do local pretendido irá ser influenciada pelos níveis de humidade relativa e temperatura do meio envolvente. Para tal, é necessário controlar estes parâmetros para um melhor êxito da desinfeção. Ambientes com temperaturas mais elevadas contribuem para uma maior eficácia da descontaminação do local, pois aumentam a energia cinética das moléculas atomizadas, dispersando-as mais rapidamente pelo ambiente a descontaminar.

Por outro lado, a humidade é o fator que mais contribui para a eficácia da descontaminação local. Dizer que um ambiente possui uma humidade relativa alta é semelhante dizer que este mesmo ambiente está carregado de moléculas de H_2O em fase gasosa, e assim, haverá menos “espaço livre” para conseguir o nível de peróxido de hidrogénio desejado no mesmo ambiente. Desta forma, conclui-se que para se obter uma elevada concentração do valor do nível de H_2O_2 , convém ter um baixo valor de humidade relativa do meio (Mattos, Shiraish, Braz, & Fernandes, 2003).

Outro fator que influencia a eficácia da descontaminação do meio é a micro condensação, um fenómeno que representa a transformação da matéria do estado gasoso para o estado líquido. A solução líquida tipicamente vendida de água oxigenada é composta por H_2O e H_2O_2 . Estes dois compostos químicos possuem características distintas. A molécula de água quando em fase gasosa possui uma pressão quase 100 vezes maior do que a pressão do peróxido de hidrogénio, e por isto, a água se evapora mais rapidamente do que o H_2O_2 . Por outro lado, a névoa do peróxido de hidrogénio é muito mais instável do que a névoa da molécula da água, e por isso, se condensa mais rápido. Assim, a solução de água oxigenada quando introduzida em um espaço a temperatura ambiente, haverá um momento em que, apesar de não ser visível a olho humano, acontecerá a micro condensação, ou seja, partículas de peróxido de hidrogénio em fase gasosa se transformarão no estado líquido.

2.4.2. Influência do oxigénio puro

Todos os organismos vivos necessitam de energia para a manutenção do seu metabolismo. Tipicamente, essa energia está armazenada nos alimentos e para transformá-la em nutrientes, é necessário “partir” as moléculas tituladas como fontes de energia, como é o caso da glicose (fórmula química $C_6H_{12}O_6$). As degradações destas moléculas podem ocorrer na presença ou na ausência de oxigénio, através de um processo denominado como respiração celular.

Vulgarmente, o termo respiração representa o ato de inalar e exalar ar através da boca ou cavidades nasais, de forma a serem processadas as trocas de oxigénio e dióxido de carbono ao nível dos pulmões. Do ponto de vista bioquímico, a respiração é um processo que altera as ligações química das moléculas, de forma a obter energia para esta ser utilizada nos processos vitais.

Os humanos e animais vertebrados e invertebrados são considerados seres vivos aeróbios, ou seja, que dependem da presença do oxigénio para respirar. Por outro lado, a respiração anaeróbica é um processo utilizado por alguns organismos, como as bactérias, onde não necessitam de oxigénio para o processo de respiração celular. Estes organismos utilizam outros processos, como a fermentação, para a obtenção de energia.

Os vírus e as bactérias que não necessitam de oxigénio para os seus processos metabólicos e sobrevivência, podem morrer na presença de oxigénio. Porém, o O_2 puro pode ser tóxico para qualquer célula viva, uma vez que gera radicais que são extremamente nocivos, como é o caso do anião superóxido O_2^{2-} , que é capaz de quebrar a molécula do ADN (Ácido Desoxirribonucleico). É por este motivo que o peróxido de hidrogénio é popularmente utilizado para a desinfeção de locais que possam estar contaminados com vírus e bactérias, uma vez que liberta O_2 para o meio envolvente.

2.5. Métodos de descontaminação

De forma a conter a proliferação de bactérias e vírus nos ambientes, médicos e especialistas aconselham a lavagem constante das mãos com água e sabão e também do uso de álcool em gel. Porém esses vírus e bactérias podem sobreviver dias em superfícies, seja de móveis, chaves, embalagens de produtos, entre outros. Para tal, é necessário proceder a descontaminação destes ambientes de forma a garantir uma eficácia na eliminação dos agentes patogénicos.

O uso do peróxido de hidrogénio é largamente utilizado para a desinfeção de meios, hospitalares e aeroespaciais. Porém, para além da utilização da atomização ultrassónica das moléculas do composto químico como método de descontaminação de ambientes, existem também outros métodos para tal. Grandes empresas no ramo da descontaminação e esterilização de objetos possuem diferentes meios para a desinfeção de superfícies.

Métodos como a utilização do vapor do peróxido de hidrogénio diferem do método de peróxido de hidrogénio vaporizado por poucos detalhes. Existem também processos inovadores que se diferenciam pelo seu funcionamento, como é o caso da desinfeção utilizando o peróxido de hidrogénio ionizado. Além de variar o processo de como a

descontaminação é realizada, os métodos variam também a concentração do peróxido de hidrogénio. Assim, produtos com concentrações mais baixas, tornam-se mais seguros aquando da utilização, uma vez que são menos nocivos à saúde humana.

Além da utilização do peróxido de hidrogénio para a descontaminação de espaços e ambientes, existem também métodos que utilizam outros tipos de gases com efeitos desinfetantes. Como é o caso do gás do ozono (O_3) ou até mesmo das radiações ultravioleta (UV) que também foram comprovados como eficientes para a desinfeção de ambientes ou objetos.

Várias são as formas possíveis de efetuar a descontaminação, porém todas possuem um ponto em comum: eficiência. A eficiência é o ponto mais importante, uma vez que é necessário garantir a total ou parcial eliminação dos microrganismos patogénicos. De seguida será apresentada os métodos utilizados por grandes empresas deste ramo: a Bioquell, a Steris e a empresa SteraMist.

2.5.1. *Hydrogen Peroxide Vapour*

Atualmente, existem empresas internacionais entre elas a Bioquell, que utilizam diversos métodos de descontaminação, dos quais o principal é o método *HPV* (*Hydrogen Peroxide Vapour*), onde é gerada uma névoa de moléculas de H_2O_2 a partir de uma rápida evaporação instantânea da solução (Bioquell, 2020). Uma das vantagens da utilização deste método é que a decomposição do composto químico acaba por ser mais rápida, uma vez que o mesmo é submetido a perturbações exteriores.

As máquinas fabricadas pela Bioquell são concebidas para desinfetarem ambientes utilizando uma concentração de peróxido de hidrogénio a 35% (Bioquell, 2020). Esta concentração pode ser considerada elevada para o contacto humano, sendo classificada como classe de risco nível 2.

A humidade relativa do meio influencia o processo de descontaminação por peróxido de hidrogénio, ou seja, quanto maior a humidade relativa, maior a concentração de moléculas de água no ambiente. E por este motivo, o método de *HPV* é conhecido como processo húmido ("*wet process*"), uma vez que o vapor do composto é injetado para o meio sem um prévio tratamento do mesmo (Bioquell, 2020).

Processos do tipo húmidos aumentam a possibilidade de haver a micro condensação das moléculas de H_2O_2 e por isso, é provável que a eficácia deste método seja atingida em um maior espaço de tempo.

A empresa Steris Corporation é um outro grande nome da indústria da descontaminação e esterilização de sistemas de saúde, com principal foco nos dispositivos médicos e farmacêuticos. Possui diversos produtos pioneiros no mercado e inovações líderes da indústria.

Analogamente ao método utilizado pela Bioquell, a empresa irlandesa possui um processo de descontaminação quase idêntica ao HPV, utilizando em suas máquinas o peróxido de hidrogénio vaporizado, VHP (*Vaporized Hydrogen Peroxide*) como método de desinfeção (Steris Life Sciences, 2020). A grande diferença entre este método e o método citado anteriormente, é que neste, antes da solução de H_2O_2 ser injetada para um local, o ar contido neste mesmo meio passa inicialmente por geradores que o desumidificam, retirando assim as moléculas de água que possam existir, baixando a humidade relativa do meio.

Após este tratamento, o ambiente estará pronto para receber o composto vaporizado. Como este método existe uma desumidificação do meio, é também conhecido como processo seco (*“dry process”*), evitando fenómenos de micro condensação das moléculas do H_2O_2 , tornando o processo mais eficiente.

Estas máquinas trabalham com uma concentração de 35% de peróxido de hidrogénio (Steris Life Sciences, 2020), e pelos mesmos motivos das máquinas da Bioquell, podem apresentar risco para a saúde humana.

A empresa SteraMist tem os direitos de marca registada no âmbito de máquinas de descontaminação por iHP (Ionized Hydrogen Peroxide). Este método utiliza o processo de ionização para dispersar rapidamente o efeito desinfetante.

Semelhante aos outros processos de nebulização do peróxido de hidrogénio, os aparelhos da SteraMist baseiam-se na criação de uma fina névoa que sai através de um bocal e antes de ser transportada pelo ar, passa por um arco de plasma frio criado entre dois elétrodos negativos de alta tensão. Assim, as gotículas se tornam ionizadas, ou seja, carregadas com a mesma polaridade, tornando-se mutuamente repulsivas. Da mesma forma, estas são atraídas para superfícies de polaridades opostas, sejam estas microrganismos como um vírus ou bactérias (TOMI SteraMist, 2020).

A ionização do peróxido de hidrogénio cria agentes antimicrobianos altamente reativos, como os radicais hidroxilo ($\text{OH}\cdot$) que são capazes de matar microrganismos patogénicos, uma vez que este radical possui alta reatividade e quando em contacto com o ADN, pode causar modificações de bases, levando à inativação ou mutação do mesmo, levando à morte dos vírus e/ou bactérias apresentados na Figura 5.

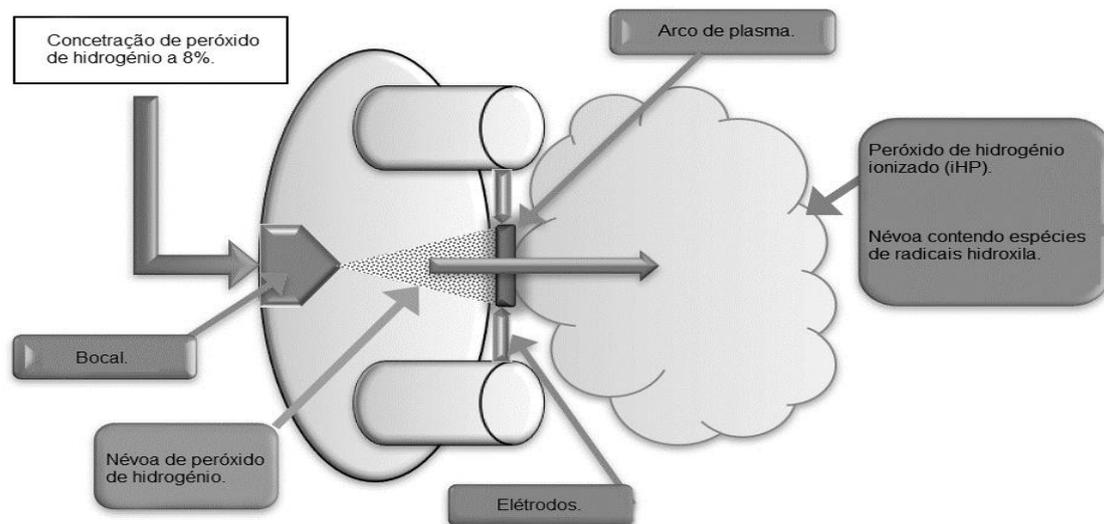


Figura 5. Processo de ionização do peróxido de hidrogénio.

Fonte: Adaptado de (TOMI SteraMist, 2020).

Além da rapidez na eficácia de descontaminação do ambiente, máquinas que possuem o processo de desinfecção por *iHP* requerem peróxido de hidrogénio em concentrações mais baixas, a volta dos 8%. Esta baixa concentração, aumenta a segurança da descontaminação, uma vez que esta percentagem não representa um risco muito significativo para a saúde humana.

O método descrito como processo seco apresenta algumas vantagens em relação ao processo húmido, uma vez que neste é realizado uma prévia desumidificação do meio antes da vaporização do produto químico. Porém, em relação ao método que promove a ionização do peróxido de hidrogénio, o *HPV* transforma-se em uma tecnologia ultrapassada. A Tabela 2 apresenta uma comparação entre os métodos utilizados pela Steris e pela SteraMist (Astro Pak Corporation, 2012).

Tabela 2. Comparação entre os métodos *VHP* e *iHP*

Critério de comparação	Peróxido de Hidrogénio Vaporizado (<i>VHP</i>)	Peróxido de Hidrogénio Ionizado (<i>iHP</i>)
Modo de aplicação	Deve ser operado em condições “secas” uma vez que é difícil de o manter na fase de “vapor” em humidade relativa superior a 30%.	Trata-se de um aerossol que funciona em todas as condições ambientais, sem necessitar de um prévio tratamento do meio.
Tempo de preparação	Requer que o ambiente esteja em condições específicas de temperatura e humidade antes do início da descontaminação. Este processo pode demorar horas.	Não requer nenhuma condição ambiental e pode ser aplicado assim que necessário.
Descontaminação	É necessário deixar a superfície/ambiente exposto à névoa (em condições ideais) por, pelo menos, 30 minutos para a eficácia da descontaminação.	A descontaminação é instantânea.
Compatibilidade	A eficácia da névoa gerada baseia-se em permanecer ativo por longos períodos. Não é compatível com ferro e outros ferrosos por causa da sua reatividade.	É necessário apenas segundos para a eficácia da descontaminação. Como a exposição é curta, é seguro para uso em torno de metais e outros materiais.
Concentração	Requer altas concentrações (30% - 60%), podendo causar danos irreversíveis aos olhos e representam um perigo explosivo, se contaminado por metais e orgânicos.	Utiliza baixa concentração de solução líquida (~8%). Assim, pode ser considerada uma solução segura para a exposição normal e não representam um perigo para a saúde ou segurança.

2.5.2. Ozono

Esta designação é dada à molécula química constituída por três átomos de oxigénio, O_3 , que se apresenta em forma gasosa, tipicamente incolor, podendo apresentar uma cor azul-claro e um odor desagradável. Este gás forma-se naturalmente nas camadas mais baixas da atmosfera e tem como função absorver a radiação ultravioleta emitida pelo sol. Trata-se de um composto com característica oxidante e é tipicamente utilizado na purificação de água e na esterilização do ar, sendo extremamente eficiente como germicida contra vírus e bactérias.

Uma vez que é mais instável que o oxigénio diatómico (O_2), por possuir na sua composição um átomo a mais de oxigénio, é naturalmente e rapidamente decomposto, seguindo a reação química apresentada em 4. Ao libertar para o meio envolvente um átomo livre de oxigénio, este procura atacar quaisquer partículas estranhas no meio, destruindo os microrganismos patogénicos.



Trata-se de um sistema de desinfeção amigo do ambiente, uma vez que quando decomposto não é deixado nenhum resíduo químico prejudicial para trás. Assim como o peróxido de hidrogénio, o ozono quando em grandes concentrações pode ser prejudicial à saúde, afetando essencialmente os brônquios e os alvéolos pulmonares. A eficácia deste método de descontaminação requer que sejam inseridas no meio concentrações 5 a 10 vezes mais altas do que os padrões de saúde pública. Assim, a utilização deste gás não é recomendada em espaços ocupados.

Entidades reguladoras como a *EPA (Environmental Protection Agency)* e a *FDA* consideram o ozono seguro para desinfeção humana e exposição, quando presentes nos seguintes parâmetros:

- a) Concentração máxima de 0.05 ppm (partes por milhão) em ambientes internos;
- b) Concentração entre 0.08 / 0.10 ppm com exposição até 8 horas quando em espaços abertos.

2.5.3. Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta possui um comprimento de onda menor que a da luz visível e maior do que a luz emitida nos raios X, variando entre 380nm a 1nm. A maior parte desta radiação é emitida pelo sol e absorvida pela atmosfera terrestre. Pode ser dividida em três principais categorias, os raios UV-A, UV-B e UV-C, dependendo da faixa do seu comprimento de onda.

Radiação UV-A (380nm a 320nm) é a gama mais comum, conhecida também como luz negra, uma vez que produz o efeito de escurecimento nos pigmentos da pele (bronzado). Quando exposto excessivamente, esta radiação pode provocar queimaduras cutâneas e até cancro na pele. Todavia, este tipo de radiação é necessário aos humanos, uma vez que é fonte de vitamina D.

Quando designada de radiação UV-B (320nm a 280nm), ou também conhecida como onda média, trata-se da gama mais destrutiva, podendo levar a queimaduras graves na pele. A camada de ozono presente na atmosfera absorve grande parte desta radiação.

A radiação UV-C (280nm a 200nm) é conhecida como desinfetante para o ar, para as superfícies e até para a água. Trata-se de raios que possuem elevada energia e que quando em contacto com microrganismos, provoca danos nas ligações químicas entre compostos que formam as estruturas presentes no interior das células.

Sendo eficaz no combate a microrganismos patogénicos, a radiação UV-C não é aconselhável ao contacto humano, uma vez que é agressivo a qualquer célula viva. Uma exposição sem filtros e cuidados, pode gerar queimaduras na pele e danos graves à saúde. Para o caso da desinfeção por radiação ultravioleta, recomenda-se o uso dos equipamentos em espaços vazios. Este mesmo método mostra-se não eficaz quando utilizados em materiais à base de tecidos e fibras.

2.6. Critérios de eficácia

Uma descontaminação que envolve um produto químico deve garantir que este penetra por todo o meio envolvente. É necessário perceber e verificar a eficácia do equipamento através de testes ao processo de descontaminação, de forma a evitar falhas na desinfeção. Para dizer que um equipamento é eficaz na desinfeção é necessário garantir que este cumpra critérios de eficácia. Os mais comuns e mais fáceis de se aplicar, são os indicadores químicos e biológicos. Estes dão uma rápida resposta sobre a eficiência da descontaminação, informando ao utilizador se a névoa de produto alcançou todos os pontos do ambiente e se essa foi capaz de matar os vírus e bactérias.

Um dos critérios mais importantes no âmbito da eficácia da descontaminação, é o indicador de *Log Kill*. Os indicadores *Log Kill* demonstram a eficácia do equipamento em relação ao produto utilizado. É importante determinar qual o nível ou quais as quantidades de microrganismos patogénicos foram capazes de sobreviver após o processo de desinfeção.

2.6.1. Indicador químico

O indicador químico é utilizado principalmente na química, para distinguir as soluções ácidas das básicas. É uma espécie de tira química que muda de cor conforme o meio onde se encontra, ácido ou básico. No processo de validação de desinfecção de um ambiente, os indicadores químicos utilizados são as tiras de papel com tinta termo crômica que, quando expostas a algum parâmetro de desinfecção, mudam de cor.

Os indicadores químicos são sensíveis aos fatores críticos da exposição à desinfecção, sendo eles temperatura, vapor e tempo de exposição. Dependendo do tipo, são capazes de analisar somente um dos fatores de exposição, ou até mesmo todos os fatores simultaneamente, dependendo da classe do indicador. Podem ser classificados conforme sua especialização. A norma publicada pela ISO (*International Organization for Standardization*), ISO 11140-4:2007 (ISO, 2007), divide os indicadores em seis categorias conforme a Tabela 3 (Miranda, 2019).

Tabela 3. Classe dos indicadores conforme ISO 11140-4:2007

Classe	Designação	Aplicação
1	Indicador de processo	Utilização em unidades individuais em sua parte externa. Servem para o controle de exposição. Indica se a parte do equipamento passou pelo processo de desinfecção, alterando a sua cor, porém não indica se a descontaminação ocorreu corretamente.
2	Teste de <i>Bowie e Dick</i>	Utilização em autoclave que contenha bomba de vácuo. Servem para verificar a presença de ar. Caso a autoclave não esteja a funcionar corretamente, a folha não mudará de cor uniformemente.
3	Único de parâmetro	Avalia a temperatura da desinfecção. Servem para verificar se o produto a ser desinfetado atingiu a temperatura mínima determinada para a descontaminação.
4	Multiparâmetro	Avalia dois ou mais fatores críticos no processo de desinfecção.
5	Integradores	Utilização em autoclaves gravitacionais ou a vácuo. Integra os parâmetros de vapor, temperatura e tempo e os resultados são comparados à inativação de bactérias.
6	Emuladores	Específicos para determinados ciclos, não reagem até completarem 95% do ciclo inteiro, oferecendo uma grande margem de segurança.

Com este tipo de indicadores é possível perceber e monitorizar o processo de descontaminação, sendo possível identificar se este é adequado para o meio em questão. Por exemplo, com indicadores químicos de classe 1 é possível perceber se a solução em forma de névoa atingiu os pontos mais extremos do ambiente em questão, basta para tal inserir um indicador no local a analisar e após desinfeção, verificar se houve reação na tira de papel, ou seja, se ela mudou de coloração.

2.6.2. Indicador biológico

O indicador biológico é semelhante ao indicador químico. Os indicadores biológicos são formas de verificar a qualidade da desinfeção de um meio ambiente. O processo de monitorização do local é mais confiável quando utilizado este método, uma vez que consiste na aplicação das próprias bactérias adormecidas e resistentes em tiras de papel.

Trata-se de um método de avaliação muito eficiente, uma vez que no meio envolvente é inserido uma cultura de bactérias vivas e após descontaminação, é feita uma nova avaliação considerando as condições finais das amostras, se estiverem todas vivas, o equipamento de descontaminação não foi eficaz, e se estiverem mortas, pode-se concluir que a desinfeção local foi eficaz (CSM, 2015).

Mais uma vez, de forma análoga aos indicadores químicos, estas tiras também alteram a sua coloração através da atividade bioquímica de um determinado microrganismo, que pode produzir derivados ácidos, alterando a cor do meio de cultura. Uma vantagem deste tipo de indicador é a sua rapidez na obtenção dos resultados, assim é possível perceber e modificar possíveis falhas nos processos de desinfeção.

A necessidade de utilizar diversos tipos de controlo de eficácia advém do dever de garantir uma correta desinfeção do meio ambiente. Idealmente, em todo e qualquer ciclo de descontaminação é importante monitorar o meio, acrescentando nele indicadores químicos e biológicos a fim de evitar falhas de forma a garantir uma descontaminação eficiente.

2.6.3. Critério “Log Kill”

A eficácia de um método de descontaminação é proporcional à quantidade de microrganismos patogénicos eliminados do meio. Ao desinfetar uma superfície ou descontaminar um espaço, a capacidade de um produto químico é medida através da sua redução de *Log*, também conhecida como *Log Kill*.

O termo *Log* vem da escala logarítmica, que usa o logaritmo de uma grandeza em vez da grandeza propriamente dita. *Kill* relaciona a percentagem de bactérias mortas ao longo da descontaminação. Assim, o termo *Log Kill* indica uma redução de 10 vezes, ou seja, a cada etapa da descontaminação, o número de bactérias presentes é reduzido em 90%.

Por exemplo, é necessário efetuar a descontaminação de uma superfície onde foram introduzidas um milhão de bactérias, uma redução de 1 *Log* reduziria o número de bactérias em 90%, sobrando 100 000 bactérias na superfície. Do mesmo modo, uma redução de 2 *Log* remove 99%, restando 10 000 bactérias, 3 *Log* remove 99,9% permanecendo 1 000 bactérias na superfície, e assim por diante, até a redução 6 *Log* que deixa para trás apenas uma célula em um milhão.

Deste modo, é importante definir o número inicial de agentes patogénicos, uma vez que um único dígito pode ter grande impacto, principalmente na indústria alimentícia. Uma redução de 2 *Log* deixa 100 vezes mais bactérias do que uma redução de 4 *Log*. Essa definição torna-se extremamente importante quando, por exemplo, a bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*), um dos patogénicos mais comuns de origem alimentar, pode se reproduzir a cada 20 minutos em condições ideais. Ou seja, uma célula pode produzir um milhão de novas células em cerca de 7 horas. Utilizar protocolos que proporcionam uma redução mínima de 6 *Log* podem ajudar a manter essas bactérias em níveis seguros.

Para determinar o nível de redução de um produto, este é introduzido em contacto com patogénicos conhecidos por um determinado período. Em intervalos especificados, as amostras são removidas e analisadas, onde é feita a contagem das mesmas. Assim, a diferença entre o número de bactérias na amostra não tratada e na amostra tratada indica a capacidade de redução *Log* do produto testado.

2.6.4. Nível ppm

As concentrações das soluções químicas referem-se à quantidade de soluto existente em uma quantidade padrão de solução, ou em uma quantidade padrão de solvente. Quando esta concentração é dada em valores extremamente pequenos, é habitual utilizar a unidade parte por milhão. Assim, esta unidade indica quantas partes do soluto existem em um milhão de partes da solução. Uma solução química de água oxigenada a 35% de concentração, significa que essa mesma solução possui tipicamente um valor de 350 000ppm.

O nível de concentração de peróxido de hidrogénio após uma desinfecção, e de forma a garantir um nível não perigoso para saúde humana, deverá ser menor que 1ppm. Para valores de 0 ppm de peróxido de hidrogénio, significa que ainda não foram inseridos H_2O_2 no meio ambiente. E quanto maior o valor medido, maior será a concentração do composto. Portanto, é necessário verificar o valor medido de ppm no ambiente, a fim de perceber a real concentração de produto a que o local a ser descontaminado foi submetido.

Empresas como a Dräger possuem, no seu portefólio de produtos, sensores medidores de nível de ppm. Possuem ainda uma ampla gama de artigos distinguidos pelos valores de leitura. Sensores do tipo *LC (Low Concentration)* medem níveis de 0.1ppm até 20ppm, enquanto os *HC (High Concentration)* medem níveis até de 1 000ppm a 7 000ppm (Draeger, 2020).

2.7. Descontaminação de ambientes fechados

Desde o início da pandemia causada pelo SARS-CoV-2, a preocupação com a higienização quer de espaços públicos (entre outros, hospitais ou *space labs*), quer com a própria higienização pessoal, tem vindo a aumentar exponencialmente. As técnicas convencionais de higienização são suficientes para eliminar parcialmente as contaminações nos equipamentos e superfícies, porém não garantem total eliminação de todos os microrganismos presentes no meio envolvente, podendo resultar em uma recontaminação do equipamento.

Neste cenário, a criação de equipamentos que dispersam substâncias químicas conhecidas pelo seu efeito desinfetante, apresentam-se como uma tecnologia promissora para a descontaminação de ambientes em diferentes áreas. Esta

tecnologia consiste na criação de uma névoa fina no ar, dispersando assim, pequenas partículas de tamanho inferior a 5mm, o que possibilita a completa cobertura 3D do espaço. Como visto anteriormente, devido ao seu grande efeito desinfetante, o peróxido de hidrogénio é uma das substâncias químicas que se enquadram perfeitamente neste tipo de aplicação.

Durante a aplicação desta técnica, é necessário proceder ao isolamento da área, não permitindo a entrada de pessoas, uma vez que as atomizações deste tipo de substâncias químicas, dependendo do valor da sua concentração, podem causar problemas respiratórios e/ou cutâneos (Tabela 1, secção 2.3). Para garantir a eficácia da ação do produto químico, tipicamente, é necessário dispersar a névoa durante pelo menos 15 a 45 minutos. Após este período, deve-se aguardar cerca de 45 a 60 minutos para permitir a sedimentação das partículas e, conseqüentemente, proceder a renovação do ar e posteriormente a liberação da área para a entrada de pessoas. Os intervalos de tempo variam com diferentes fatores, como: tipo de produto aplicado e a sua concentração, caudal de névoa do equipamento e o volume do ambiente a ser tratado.

A humanidade não estava preparada para uma crise na saúde pública. No final de 2019, o mundo virou de cabeça para baixo com o aparecimento de um vírus infeccioso, altamente contagioso, que fez alterar a rotina de todos e que, infelizmente, tem causado milhares de morte. Atualmente, todo o cuidado com a higienização de espaços, principalmente hospitalares, é extremamente necessário para evitar a propagação do vírus do SARS-CoV-2. Esta nova tecnologia capaz de desinfetar ambientes pode auxiliar na redução da carga microbiana, contribuindo para uma solução de eliminação dos vírus e bactérias presentes nestes meios envolventes.

2.7.1. Equipamento de descontaminação

É a partir de uma ideia com intuito de solucionar um problema atual que surge o tema deste projeto de investigação. A crise causada pela pandemia do SARS-CoV-2 levou a que muitas PME, localizadas em Portugal, fossem obrigadas a fechar as suas portas. O Governo Português decretou, em 18 de março de 2020, o primeiro estado de emergência com a intenção de contrariar o súbito aumento dos casos de infeção por SARS-CoV-2.

Este confinamento proibiu a circulação dos portugueses, onde só era permitido sair de casa por motivos específicos, como para comprar bens essenciais ou prestar ajuda a familiares adoecidos, por exemplo. Desde então, o uso de máscaras tornou-se obrigatório em ambientes fechados e os cuidados com a higienização pessoal e local foram redobrados.

Remetendo há alguns anos, outros surtos pandémicos causados por vírus e bactérias transmissíveis foram observados. No início de 2014, o vírus Ébola, matou mais de 11 mil pessoas em um ano. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o vírus da gripe mata, sazonalmente, 60 mil pessoas por ano na Europa. Não demorará muito mais tempo para que um novo vírus venha a surgir, e iniciar assim, outra crise na saúde pública. Portanto, é necessário obter as melhores soluções para evitar um novo colapso mundial. Atualmente, o desenvolvimento de um equipamento de descontaminação a um preço acessível é fundamental para contribuir para um regresso de um dia-a-dia, dito “normal”, mas também é algo que poderá, futuramente, vir salvar milhares de vidas.

De seguida, são apresentados os conceitos gerais, mecânicos e eletrónicos, necessários para a criação do equipamento que foi fruto deste trabalho de projeto. Os materiais utilizados neste projeto, não são os mais atuais nos dias de hoje, porém permitem e garantem todas as funcionalidades do equipamento, possibilitando assim uma redução de custos de fabrico.

2.7.1.1. Conceito mecânico

A impressão 3D (tridimensional) é muito utilizado atualmente, uma vez que permite criar peças e máquinas cada vez mais sofisticadas e personalizadas utilizando *softwares* adequados. Este tipo de modelagem possui uma grande capacidade de inovação e permite ao engenheiro construir com bastante precisão peças, que se necessário, podem gerar uma montagem correspondente ao equipamento final.

O *SolidWorks*, assim como outros programas de simulação, é um *software* de CAD 3D (Computer-Aided Design 3D) que se baseia na computação paramétrica, capaz de criar formas tridimensionais a partir de operações geométricas elementares. Além da modelação em 3D da máquina, através deste *software* é possível obter os desenhos técnicos em 2D de cada peça que compõe um todo, facilitando a construção de cada

elemento em singular. Assim, é neste sentido que o *SolidWorks* foi escolhido como programa de modelação para a estrutura da máquina de descontaminação.

O conceito do equipamento dado como tema deste projeto de investigação traduz-se numa caixa metálica onde são introduzidos, na sua base, 4 atomizadores ultrassónicos anticorrosivos. Os atomizadores utilizados são os de referência 10T45-10C, fabricados pela *Easywell Electronic*. Esta caixa que compõe a estrutura do equipamento possui três circunferências no topo, que servem para adição de tubulações verticais ou horizontais (dependendo do ambiente), de modo a ser possível dispersar a névoa de peróxido de hidrogénio o mais alto possível, cobrindo assim toda a dimensão 3D do ambiente. A caixa metálica é fabricada a partir de chapas de aço inoxidável quinadas e possui forma retangular.

Na base do equipamento, que serve também como tanque, é introduzida a solução química do peróxido de hidrogénio. Os atomizadores devem estar submersos neste líquido para que assim, uma vez alimentado a corrente elétrica, possam ativar a sua vibração ultrassónica, atomizando a solução e conseqüentemente gerando a névoa de H_2O_2 . Para facilitar a saída da névoa pelos orifícios circulares localizados no topo do equipamento é adicionado ao sistema, dois ventiladores capaz de empurrar a névoa de água oxigenada atomizada, criando assim, um fluxo de névoa para o ambiente a ser descontaminado. As ventoinhas selecionadas para efetuar esse fluxo é do modelo KFL20060, do fabricante *Caforre* (Caforre, 2021).

Dentro da caixa metálica possui ainda uma outra caixa, que serve como caixa estanque, para assegurar que todo o material eletrônico do equipamento esteja livre de qualquer possibilidade de entrar em contacto com o produto químico atomizado.

2.7.1.2. Descrição das etapas de investigação

Primeiramente, foi necessário definir o problema e o âmbito do desenvolvimento do equipamento para a empresa. Assim, este trabalho de projeto realizou-se em uma empresa emergente, recém-criada e ainda em fase de desenvolvimento, mas que visa aparecer e crescer no setor da bio descontaminação. A ideia necessária para o arranque do projeto é conhecida pela empresa, mas o mesmo não acontece com os materiais e equipamentos necessários para o desenvolvimento do equipamento. O problema centrou-se, portanto, na construção de um protótipo que descontamine os

ambientes utilizando o peróxido de hidrogénio, de modo a alimentar o crescimento e expansão da empresa.

De seguida, foi necessário planear a investigação bem como planear a recolha de dados. Ainda nesta fase deu-se início ao levantamento de informação acerca de todas as características do produto químico a ser utilizado e quais as melhores formas de o utilizar. Foram também definidos métodos e formas para abordar o desenvolvimento do protótipo, assim como os programas e equipamento eletrónicos a serem utilizados. O custo de fabricação do equipamento também foi avaliado, optando sempre por garantir a segurança e eficiência a um custo reduzido.

A seguinte etapa, caracterizou-se pela construção e implementação de todos os sistemas necessários para se obter, no final, o protótipo do equipamento de descontaminação. A par disso, foram necessários efetuar melhorias no equipamento, quer da parte mecânica, quer da parte eletrónica, a fim de facilitar a produção e montagem de todas as partes que compõem o todo. No fim desta etapa, foi obtido o protótipo do equipamento totalmente desenvolvido, pronto para a realização de testes de eficiência.

Por fim, foram realizados testes de eficiência relacionado a eficácia do produto utilizado, assim como qual a concentração mínima necessária para se garantir a desinfeção do meio. Também foram realizados testes ao tempo de vida útil de cada equipamento eletrónico, assim como o próprio equipamento foi submetido a testes como um todo.

Capítulo 3. Caso de Estudo

Neste capítulo será apresentado o caso de estudo, iniciado pela introdução da empresa na qual foi desenvolvida a dissertação, seguida da pormenorização do tema abordado.

3.1. Apresentação da empresa: Biodefender

Devido a crise na saúde pública estabelecida no início de 2020 em função da pandemia causada pelo SARS-CoV-2, a Biodefender surgiu com o intuito de desenvolver equipamentos, atuando no ramo da desinfecção de espaços públicos e privados. Trata-se de uma empresa emergente, que tem como objetivo principal potencializar um modelo de negócio.

Uma empresa emergente caracteriza-se por ser uma empresa *start-up*, ou seja, recém-criada ainda em fase de desenvolvimento e para tal, além dos desafios de produzir algo inovador, uma *start-up* enfrenta logo de início um grande obstáculo, o investimento inicial. Deste modo, o governo português disponibiliza à PME incentivos financeiros, a fim destas conseguirem emergir no mercado. Um dos programas de incentivos existentes é o Portugal 2020.

A partir de um financiamento do programa Portugal 2020, a empresa Biodefender nasce, com o intuito de expandir no ramo da bio descontaminação, tendo como base o projeto de desenvolver um equipamento de desinfecção utilizando a tecnologia de atomização do peróxido de hidrogénio. Além do desenvolvimento deste equipamento, cujo é tema deste projeto, a empresa procura também ampliar o conceito de desinfecção utilizando outros tipos de tecnologias, como a desinfecção com ozono.

Com a sede no Parque Industrial e Tecnológico em Évora, a Biodefender possui, atualmente, quatro protótipos de equipamentos de desinfecção que estão a ser testadas para futuramente serem comercializadas. Seguidamente, é feito um breve resumo de todos os protótipos realizados pela empresa em questão.

3.1.1. Equipamento “Wall”

O protótipo do equipamento designado como *Wall* foi concebido com a intenção de ser um aparelho mais compacto desta gama de produtos, como é mostrado na Figura 6.

Este equipamento é destinado para a descontaminação de vírus e bactérias em ambientes fechados, tais como salas, quartos, entre outros, utilizando a tecnologia da geração de ozono para promover a desinfecção. Segundo a OMS, este tipo de desinfecção pode ser considerado mais eficaz contra todos os tipos de microrganismos e menos nocivo para a saúde humana.



Figura 6. Equipamento Wall.

Projetado com a finalidade de ser afixado à parede do local a ser descontaminado, o equipamento *Wall* possui 280mm de altura, com 180mm de largura, uma profundidade de 120mm e um peso de aproximadamente 3kg. Pode ser controlado por um comando remoto através das funções *ON/OFF*.

Este equipamento possui no seu interior uma pequena ventoinha que conduz o ar que entra para um gerador de ozono, onde ocorre uma descarga de alta tensão, concebendo assim moléculas de O_3 que é inserido no ambiente a ser desinfetado. A capacidade de produção de ozono desta máquina é de 20g/h, com uma capacidade de descontaminação de $200m^3/h$. A Figura 7 demonstra o funcionamento do equipamento de descontaminação *Wall*.



Figura 7. Funcionamento do equipamento de descontaminação por ozono.

É deste modo gerado moléculas de ozono que permitem a descontaminação do meio envolvente. Além de descontaminação do ar local, a tecnologia do ozono é também utilizada como desinfetante de água e alimento.

3.1.2. Equipamento “Zen”

O segundo protótipo desenvolvido pela Biodefender é denominado *Zen*, apresentado na Figura 8.



Figura 8. Equipamento Zen.

Semelhante ao equipamento anteriormente descrito, o protótipo da máquina *Zen* tem como objetivo a descontaminação por ozono, possuindo no seu interior um sistema análogo ao da Figura 7. Possui uma altura de 540 mm, uma largura de aproximadamente 200 mm, com um peso de 5 kg.

A grande inovação desta máquina para a anteriormente apresentada, é que esta foi pensada e concebida para ser também utilizada como candeeiro. Na parte superior, existem *LEDs (Light-Emitting Diode)* que iluminam de forma eficaz o ambiente. Assim, o equipamento pode ser utilizado como objeto de decoração e, quando necessário, ser ligado remotamente para iniciar a descontaminação do local. Desta forma, este equipamento foi projetado para ser utilizado em salas das casas ou salas de reuniões, por exemplo.

3.1.3. Equipamento “*Pro*”

O terceiro e último equipamento desenvolvido pela empresa é denominado *Pro* e é apresentado na Figura 9. Este, é o último protótipo que utiliza a tecnologia do ozono para efeitos de descontaminação. Com uma capacidade de produção de ozono três vezes superior (60g/h) aos equipamentos *Wall* e *Zen*, possui uma capacidade de descontaminação máxima de 600m³/h.



Figura 9. Equipamento *Pro*.

As suas dimensões são superiores aos primeiros protótipos (altura máxima de 470mm, largura de 185 mm e comprimento de 410 mm), uma vez que possui no seu interior 3 geradores de ozono e três ventoinhas. Por este motivo, este protótipo apresenta um peso três vezes maior do que o primeiro equipamento, o *Wall*, pesando aproximadamente 9 kg.

Todos os três protótipos desenvolvidos anteriormente funcionam a uma tensão de 230V, possuindo no seu interior transformadores que efetuam a conversão de tensão fornecida na rede para a tensão de funcionamento de cada aparelho eletrónico. Estes

protótipos não possuem qualquer tipo de tecnologia de programas pré-definidos para a ativação do sistema automático.

Por outro lado, a empresa Biodefender possui um equipamento, título deste trabalho de projeto, que utiliza a tecnologia da atomização do peróxido de hidrogénio. Este equipamento, diferente de todos os protótipos construídos anteriormente, foi desenhado para utilização em maior escala, como fábricas, escolas, hospitais, entre outros.

3.1.4. Equipamento “Supreme”

Supreme foi o nome escolhido para a máquina de descontaminação que utiliza o peróxido de hidrogénio para proceder a desinfeção de um ambiente. Diferente dos equipamentos que utilizam ozono, esta foi concebida para ser portátil, possuindo rodas na sua base, para facilitar a sua locomoção, conforme Figura 10. As suas dimensões são: altura 995 mm, largura 520 mm e uma profundidade de 430 mm.



Figura 10. Equipamento "Supreme".

Na próxima secção deste capítulo será apresentado todos os procedimentos efetuados para a obtenção do protótipo deste equipamento, assim como todos os processos para a programação do mesmo. Primeiramente será apresentado um breve resumo dos programas para modelação e para a programação da mesma.

Como dito anteriormente, a Biodefender traduz-se por uma empresa *start-up* em inicial expansão que procura se impor no ramo da bio descontaminação. Ainda que pequena,

possui um leque variado de produtos que utilizam diferentes tipos de tecnologias. A empresa pretende inovar cada dia mais, oferecendo aos seus clientes produtos eficientes e de qualidade.

Todos os protótipos desta empresa estão, atualmente, a serem testados por laboratórios qualificados de modo a garantir a eficiência do produto e processo para assim, garantir a eficiência da descontaminação. Um dos laboratórios acreditados pelo qual as máquinas irão passar por testes de qualidade e segurança, é o laboratório do ISQ (Instituto de Soldadura e Qualidade). Após finalização destes testes, prevê-se a acreditação dos equipamentos de descontaminação em Portugal com uma marcação CE, para ser possível a venda dos equipamentos atendendo todos os requisitos de segurança, higiene e proteção ambiental em todo o território da União Europeia.

3.2. Criação do protótipo

O conceito de pôr em prática uma ideia inclui sempre um risco de fracasso, porém este risco nunca será determinado se a ideia não for testada. Para tal, é necessário recorrer a elaboração de protótipos do projeto em questão. Este conceito representa um modelo do produto de trabalho que tem como objetivo o teste e o aprendizado. A realização desta etapa de prototipagem reduz incertezas sobre a aparência, requisitos de segurança, usabilidade e até o desempenho do produto. Deste modo, é possível perceber ainda em fase inicial possíveis alterações para agregar ainda mais valor ao produto.

Um protótipo pode ser definido de três formas, dependendo da sua finalidade. Protótipos de baixa fidelidade representa um conceito de uma ideia para exemplificar aspetos como tamanho, formato e outras características superficiais. Quando de média fidelidade, o protótipo em questão corresponde à uma representação parcial e específica de uma ideia, em que é reunido aspetos estratégicos de modo a otimizar custos e/ou tempo. Por fim, o protótipo utilizado neste trabalho de projeto é do tipo de alta fidelidade, uma vez que é fabricado um equipamento em tamanho real, com o maior grau de semelhança com a realidade, para ser possível a realização de testes em escala real.

Todavia, antes de se poder construir um protótipo do equipamento desejado é necessário proceder ao projeto mecânico do mesmo. Este processo é composto pelas

seguintes fases: análise de viabilidade e concepção do *design* inicial, dimensionamento (2D e 3D), prototipagem e testes e por fim, a documentação e desenhos técnicos.

- Análise de viabilidade e concepção do *design*

A fase inicial caracteriza-se pelo reconhecimento do problema, delimitação de recursos e definição de requisitos. No caso deste trabalho de projeto, o título do problema em causa surge da necessidade de construir um equipamento capaz de descontaminar espaços públicos e privados, de forma a conter a propagação de contágios por doenças transmissíveis, nomeadamente a SARS-CoV-2. A posteriori, além do reconhecimento do problema, é necessário proceder a análise da viabilidade da mesma. Por outras palavras, é importante prever/anteceder o eventual êxito ou fracasso do projeto, minimizando qualquer margem de erro, de forma a alcançar bons resultados.

Nesta fase, é importante também perceber quais são os recursos disponíveis para a obtenção do equipamento final, definindo assim os requisitos necessários para alcançar essa meta. Por exemplo, uma vez que a empresa Biodefender não possui máquinas fundamentais para a fabricação de um protótipo com o tipo de material pré-definido, é necessário subcontratar uma empresa que seja capaz de fabricar tais peças. Assim, é pensado em um equipamento com um *design* inicial que atenda todos os requisitos anteriormente descritos, possuindo como base e princípio a eficácia da máquina, atendendo requisitos de segurança, ergonomia, qualidade, entre outros.

- Dimensionamento (2D e 3D)

Uma vez realizada a análise de viabilidade e considerando a idealização primária do projeto mecânico, a seguinte etapa constitui o desenvolvimento do protótipo. Neste ponto, é posto em causa o dimensionamento das medidas, a escolha dos materiais a serem utilizados e o modo de operação do equipamento mecânico, se hidráulico, se mecânico ou se elétrico. Desta forma, esta fase é crucial para se garantir a correta usabilidade e durabilidade do projeto e posteriormente, é esperado se obter características específicas de cada componente.

O desenho mecânico e a modelagem em 3D são consideradas partes importantíssimas aquando do desenvolvimento de um equipamento. É neste processo que são calculadas e definidas as dimensões, de forma a se obter um maior

detalhamento das peças e de suas tolerâncias dimensionais, considerando uma maior eficiência e redução de custos no processo de fabrico.

Para tal, são utilizados *softwares CAD* específicos para a projeção virtual de peças, onde as informações da montagem do conjunto e das peças individuais ficam armazenadas, permitindo qualquer alteração futura. Todo o *design* do equipamento título deste trabalho de projeto, foi realizado em *SolidWorks*. Este *software* permite o desenvolvimento do protótipo em 3D e 2D, introduzindo em cada peça funções específicas para o tipo de material da chapa metálica, tipo de soldadura necessária e até mesmo a cor do produto final.

É também nesta etapa que é definido o modo de operação do equipamento. Neste contexto, é estabelecido que a máquina irá operar eletronicamente e será comandada através de um microcontrolador programável. Este microcontrolador, *Raspberry Pi 4*, possui portas de entrada e saída capazes de funcionar com 3,3V. Esta tensão permite a interação e o controlo de outros dispositivos como *LEDs*, interruptores, relés, sensores, entre outros. Todos os equipamentos, quer sejam peças do projeto mecânico quer sejam aparelhos eletrónicos, a serem utilizados no equipamento final foram definidos nesta etapa, desde parafusos, porcas, tipos de vedantes à relés, ecrã tátil e atomizadores ultrassónicos.

Atendendo ao tipo de fidelidade do protótipo a ser construído (alta fidelidade) é esperado que ao fim deste dimensionamento seja obtido um modelo 3D que mais se assemelha à idealização do equipamento final. Assim, a fase seguinte dá forma ao que nesta fase foi estruturado.

- Prototipagem e testes

Neste estágio, é esperado possuir um equipamento muito próximo do arquitetado, de forma a ser possível a realização de testes e a validações de processos. Os resultados gerados a partir destes testes serão utilizados para redefinir um ou mais dos problemas encontrados.

Considerado uma etapa crucial para a comercialização de qualquer tipo de equipamento, os processos de testes de funcionalidade dos equipamentos são necessários de forma a garantir a eficiência dos mesmos e a segurança do utilizador final. Assim, quanto maior for o número de testes a um determinado parâmetro e

quanto maior a sua diversidade, maior será a segurança em declarar que o aparelho está apto a ser distribuído no mercado de vendas.

Os testes necessários para o equipamento de descontaminação de ambientes e superfícies baseiam-se em testes de resistência à corrosão (dado o produto químico utilizado ser corrosivo), testes de tempo de vida dos dispositivos eletrônicos, assim como testes à eficácia da desinfecção, entre outros. Para tal, é necessário definir os parâmetros essenciais para a análise do mesmo, verificando qual o contributo de cada característica para o êxito do equipamento final.

Caso se verifique uma necessidade na alteração quer seja do *design* do equipamento, para facilitar a montagem das peças, por exemplo, ou na funcionalidade do programa, é nesta fase que as modificações deverão ser feitas de forma que o produto final saia para o mercado de vendas de forma robusta e autêntica. Assim, é possível prevenir elevados custos de alterações após a fabricação em série do equipamento.

- Documentação e desenhos técnicos

Após a reavaliação do protótipo inicialmente idealizado, são feitas correções no mesmo de modo a atender todos os requisitos necessários e impostos pela empresa. Assim, após o ajuste do projeto mecânico é esperado que o protótipo seja, nesta fase, um equipamento inalterável e pronto para a fabricação em larga escala. Posto isto, a fase final do processo de criação de um protótipo passa pela reunião de toda a documentação e desenhos técnicos associados ao projeto final.

O desenho técnico é a ferramenta necessária para a interpretação e representação de um projeto. Trata-se de uma forma de expressão gráfica que possui como propósito a reprodução de formas, dimensões e posições de peças, de acordo com os requisitos adotados pelas diversas áreas de engenharia e também da arquitetura. É importante ressaltar a necessidade de normalização dos mesmos, ou seja, a normalização busca a definição, a unificação e a simplificação, quer do produto final, quer de peças elementares, através do estabelecimento de normas. Estas, por sua vez, visam a otimização de características, tais como os níveis de qualidade ou de eficiência, a segurança ou as dimensões.

É a partir dos desenhos técnicos que são feitas as peças que compõem um equipamento. Esta documentação informa também, o modo como cada parte é interligada entre si. Assim, para garantir que o equipamento final possua a estrutura

sistematizada é necessário que os desenhos técnicos detenham do mais variável número de informações e que os mesmos estejam atualizados.

3.2.1. Circuito eletrónico

De forma a ser possível controlar o equipamento através de um visor *touchscreen* para aceder a funções básicas como ligar e desligar, é necessário inserir no sistema eletrónico um microcontrolador. Este sistema representa um pequeno computador num único circuito integrado, contendo núcleo de processador, memória e periférico programável de entrada e saída. São utilizados em produtos e dispositivos automatizados e no controlo de equipamentos do nosso quotidiano, como televisores, automóveis e até mesmo em brinquedos infantis.

O ambiente de desenvolvimento utilizado no equipamento de descontaminação é baseado em um programa de computador, designado de *Qt Creator*, que permite a criação, edição e compilação de programas através de uma interface gráfica, bem como a programação do microcontrolador. Este sistema permite a ligação entre o computador e a execução do programa desenvolvido, de modo a ser possível detetar possíveis falhas ou erros. O microcontrolador escolhido para ser implementado na máquina é o *Raspberry Pi 4*, juntamente com um monitor *touchscreen* de 7", do mesmo fabricante do microcontrolador, o *Raspberry*.

Como visto na secção 2.4, é importante que o meio envolvente possua certas condições de temperatura e humidade relativa para garantir, assim, a eficácia da descontaminação. Para tal, o equipamento de descontaminação deverá possuir um componente adicional de monitorização desses parâmetros. Assim, foi introduzido um módulo de sensor de humidade e temperatura, DHT11, compatível com o microcontrolador, para ser possível realizar as leituras dos parâmetros pretendidos.

O conceito primordial do equipamento baseia-se em ligar os atomizadores quando é necessário descontaminar o ambiente, e analogamente, desligar os mesmos quando o período necessário para a descontaminação já tiver sido atingido. Para realizar essa função através de um sistema autónomo, é necessário acrescentar um elemento capaz de realizar estas ações quando pretendido. Desde modo, para ser possível realizar esse comando, foi inserido ao sistema integrado um módulo de 4 relés de 5V

que deixam passar corrente elétrica quando necessário e realiza o corte de energia quando assim o for pretendido.

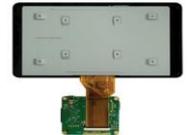
Todo o circuito eletrônico e mecânico do equipamento de descontaminação é alimentado mediante ligação elétrica, porém nem todos os componentes possuem a mesma tensão do que a fornecida numa tomada. Em Portugal, em qualquer ponto do país, a tensão de saída de rede em qualquer tomada monofásica possui o valor de 230V em corrente alternada, a uma frequência de 50Hz.

Um transformador adapta a tensão da rede elétrica para a tensão de trabalho dos ventiladores de 42V corrente contínua e 6,7A. Assim, foi necessário um transformador para os atomizadores, como visto anteriormente, um para a alimentação da placa microcontroladora, que funciona a uma tensão de 5V e uma ligação para as ventoinhas que utilizam a tensão de 230V.

A Tabela 4 apresenta a lista dos dispositivos mecânicos e eletrônicos que compõe o equipamento de descontaminação e as quantidades necessárias. Os elementos tipo parafusos, porcas, anilhas entre outros normalizados, serão posteriormente apresentados. A localização e a disposição dos mesmos e dos itens apresentados na Tabela 4 serão explicadas aquando for realizado o detalhamento do próprio equipamento.

Tabela 4. Lista de componentes mecânicos e eletrônicos necessários

Tipo	Item	Imagem	Descrição	Unidades
Mecânico	1		Caixa metálica com saída para acréscimo de 3 tubulações.	1
	2		Atomizador ultrassónico anti corrosão com 10 cabeças. Ref. 10T45-10C	4

	3		Ventilador. Ref. KFL20060	2
	4		Tubo flexível abastecimento 50mm c/ 1 braçadeira metálica.	1
	5		Bocal de abastecimento.	1
	6		Nível de líquido. Ref. L0444 107610	1
Eletrónico	7		Microcontrolador <i>Raspberry Pi 4 Model B.</i>	1
	8		Cartão MicroSD 64GB – Sandisk.	1
	9		Display <i>touchscreen 7"</i> .	1
	10		Módulo de 4 relés.	1
	11		Módulo de sensor de temperatura e humidade. Ref. DHT11	1
	12		Fonte de alimentação 5,1 V 2,5 A (para raspberry).	1

13		Fontes de alimentação comutadas 48 V 7,2 A. Ref. LRS-350-48	4
14		Fonte de alimentação 230 V.	1
15		Bucim PG11.	6
16		Tampão vedante.	1

São desta forma apresentada a lista dos componentes essenciais para a obtenção de um protótipo do equipamento de descontaminação. O objetivo deste trabalho de projeto, além do dimensionamento e a fabricação do equipamento, é garantir a eficácia do produto a ser, futuramente, comercializado. Para tal, o equipamento será submetido a testes realizados por entidades certificadoras a fim de sustentar a eficácia do mesmo.

3.2.2. *Design* e montagem mecânica

O equipamento “*Supreme*”, título deste trabalho de projeto, foi projetado de modo a ser um equipamento móvel e que seja esteticamente agradável ao consumidor final. Trata-se de uma caixa grande (995 × 520 × 430) mm, de aço inoxidável, com capacidade de geração de névoa de até 30kg/h. O *design* que é, a seguir, apresentado corresponde ao *design* final do equipamento de descontaminação. O processo de ajustes da ideia inicial até a obtenção do produto final, durou cerca de um mês. A fabricação do equipamento é feita por uma empresa subcontratada, uma vez que envolve procedimentos que a Biodefender não é capaz de realizar. As dimensões do equipamento são apresentadas na Figura 11. A lista de material representativo do exterior do equipamento é apresentada na Figura 12.

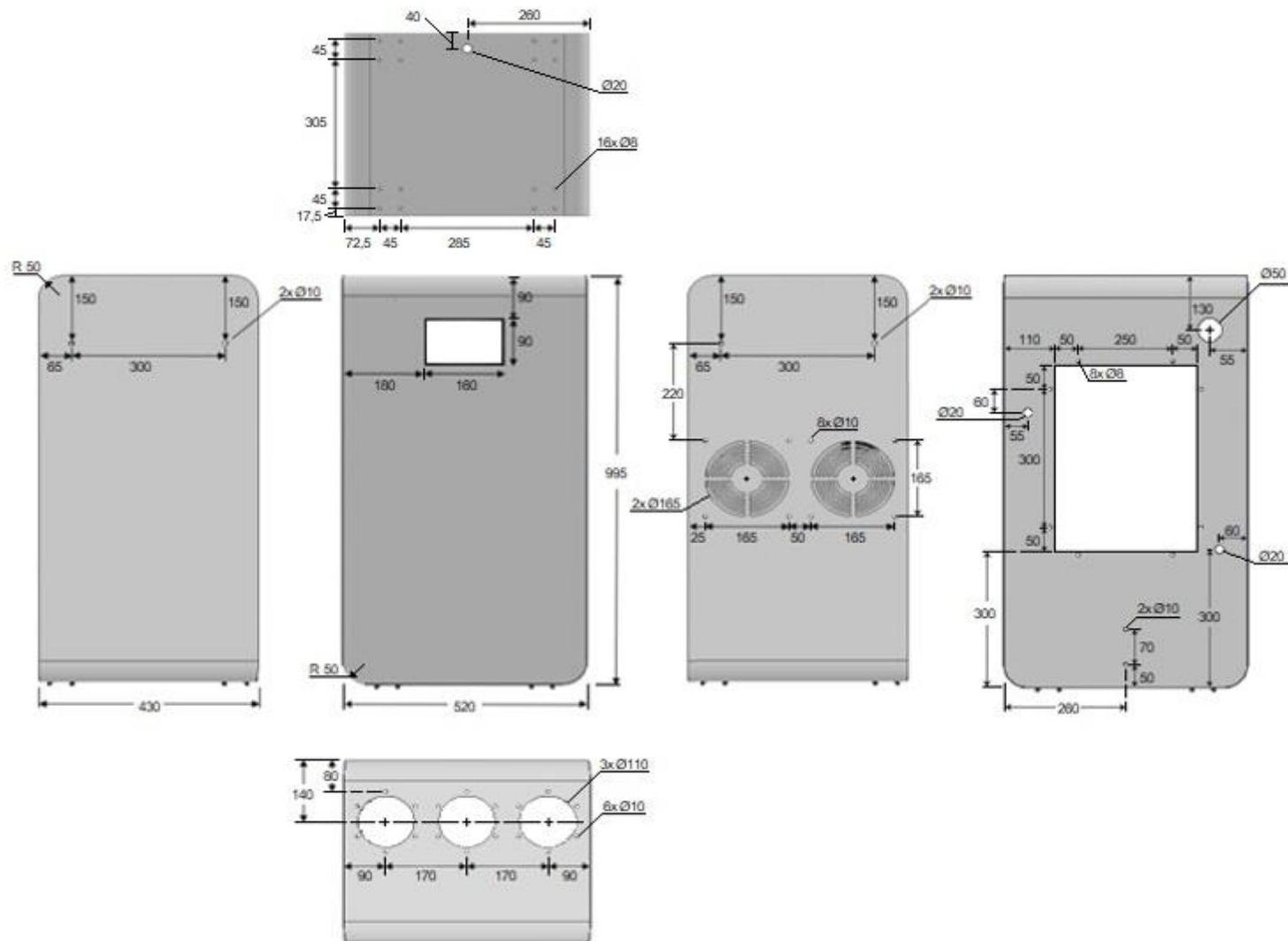


Figura 11. Cotas necessárias para a fabricação do equipamento.

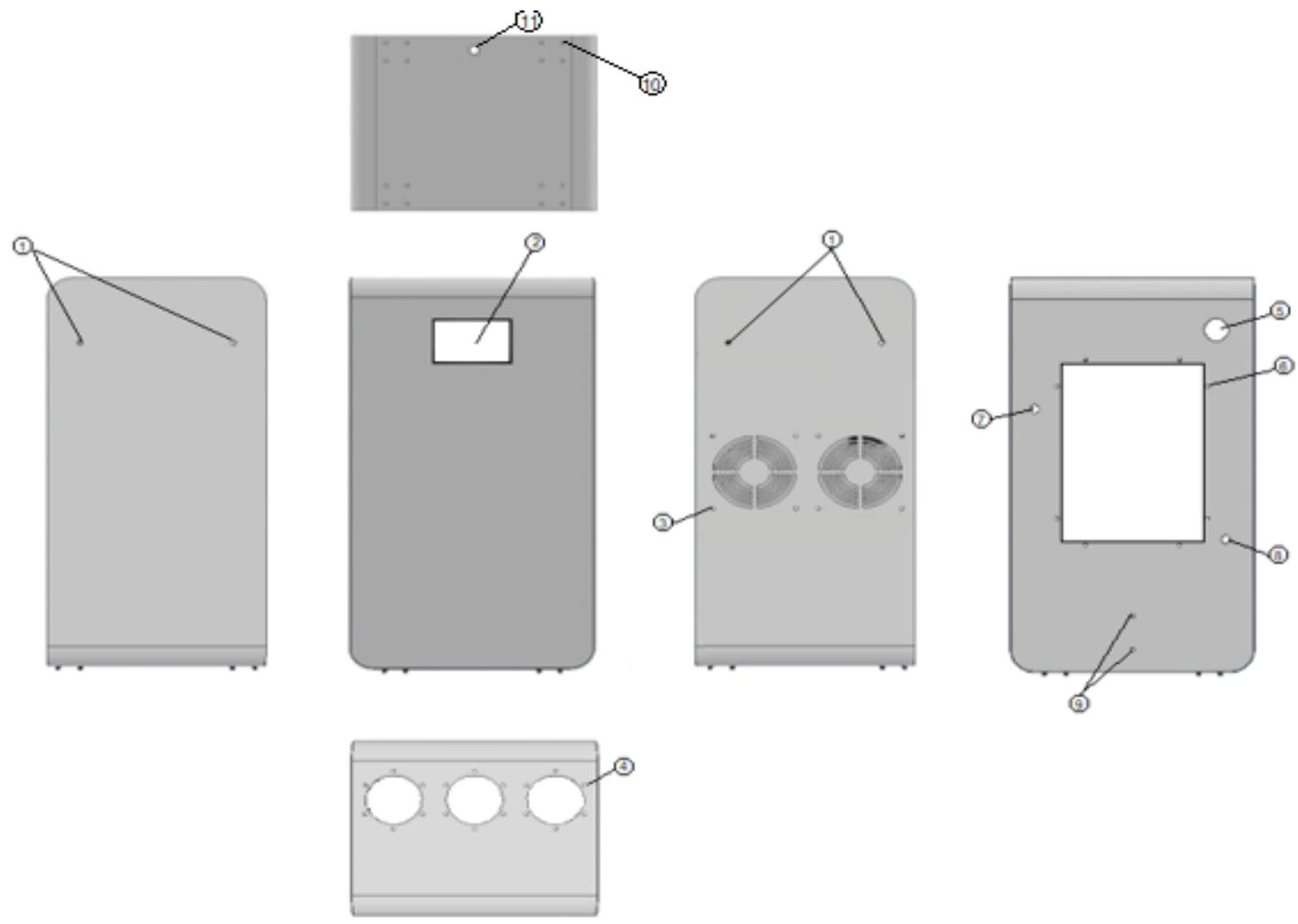


Figura 12. Lista de material representativo do exterior do equipamento.

A Figura 11 apresenta as cotas necessárias para a fabricação do equipamento de descontaminação, os desenhos estão dispostos conforme projeção ortogonal pelo primeiro diedro. Posteriormente serão apresentadas as funcionalidades de cada elemento, sejam eles furos ou aberturas para inserção de outros dispositivos.

A parte frontal do equipamento é composto por uma chapa lisa com um *design* simples e limpo, possuindo apenas uma abertura de 160mm × 90mm para fixação do ecrã tátil. O próprio *display* da máquina possui quatro furos roscados e desta forma é possível a fixação, internamente, com quatro parafusos M3 × 5mm. A vista superior da máquina apresenta três circunferências, de diâmetro 110mm, cada uma com uma distribuição de 6 furos, diâmetro 10mm, para fixação das tubulações. Os tubos são unidos no equipamento através de parafusos M10 × 15mm com cabeça cilíndrica sextavado e suas respectivas porcas M10.

As laterais da máquina também possuem uma configuração simples, o lado direito possui apenas dois furos, com diâmetro de 10mm, onde posteriormente será fixado o puxador da máquina. Este puxador possui furos internos roscados onde serão presos ao equipamento através de parafusos M10 × 15mm cabeça cilíndrica sextavado. O lado esquerdo, analogamente, apresenta os mesmos dois furos na mesma orientação para o mesmo fim. Ainda nesta lateral do equipamento, existe uma configuração para fixação dos ventiladores. Cada ventilador é fixado através de quatro parafusos M5 × 70mm sextavado com respectivas porcas de travamento M5.

A parte traseira do equipamento de descontaminação desenvolvido apresenta uma configuração mais complexa. Na fração superior da máquina existe um furo de 50mm de diâmetro, no qual servirá para fixação do bocal de abastecimento do produto químico, através de parafusos M5 × 20mm e respetiva porca M5 (os furos para essa fixação são realizados aquando da montagem, de forma a garantir que o bocal fique alinhado). O elemento 7 da Figura 12 representa um furo, de 20mm de diâmetro, para posteriormente ser inserido um buçim para passar o cabo da alimentação do equipamento. A posição 8 reflete um furo de 20mm de diâmetro. Este furo tem como objetivo impedir que o utilizador insira demasiado produto químico, assim, caso o líquido inserido atinja o nível deste furo, o mesmo será escoado para fora do equipamento de descontaminação. Durante a utilização correta da máquina, no furo do elemento 8 da Figura 12 será inserido um tampão vedante para garantir que toda a névoa gerada saia pelas tubulações.

Na mesma Figura 12, os elementos 9 caracterizam-se por dois furos de 10mm de diâmetro. Nestes furos são inseridos um nível para indicar a quantidade de produto químico que já foi inserido, servindo também para sinalizar a quantidade ideal do mesmo produto. O controlador de nível é fixado ao equipamento através de parafusos M10 × 45mm, juntamente com porcas M10 e anéis vedantes. O elemento representado pela posição 6 da Figura 12 retrata os oito furos, de 8mm de diâmetro, que servem para fixar a tampa do equipamento de descontaminação. Essa fixação é feita através de 8 parafusos M6 × 15mm.

Por fim, a parte de baixo do equipamento possui 16 parafusos M6 × 15mm soldados para ser possível a fixação das rodas para o movimento da máquina através de porcas M6. Possui ainda um furo de diâmetro 20mm que serve para escoamento do líquido inserido.

Nesta etapa foram apenas apresentados os materiais essenciais para se garantir a correta fixação dos dispositivos eletrônicos ou mecânicos. Algum destes materiais estarão em contacto com o produto químico utilizado e por isso, é necessário analisar a composição dos mesmos.

É importante nesta etapa da construção do protótipo do equipamento de descontaminação, ter em consideração a composição dos materiais dos elementos utilizados, como parafusos, porcas e até mesmo o material da própria estrutura metálica. Assim, sabendo que o peróxido de hidrogénio (produto químico escolhido para funcionamento do equipamento) possui alto poder oxidante, é necessário optar por materiais que resistam a corrosão causada pelo líquido ou névoa do mesmo.

As ligas metálicas são materiais que possuem dois ou mais elementos químicos na sua composição, onde pelo menos um deles é metal. As ligas possuem materiais semelhantes às dos metais, porém possuem propriedades diferentes dos elementos que as originam, tais como diminuição ou aumento do ponto de fusão, aumento da dureza ou até mesmo o aumento da resistência mecânica. Podem ser classificadas como ligas ferrosas, caso tenham ferro como constituinte principal. Estas ligas caracterizam-se por serem suscetíveis à corrosão e serem extremamente versáteis, ou seja, podem ser adaptadas de forma a possuírem uma ampla variedade de propriedades mecânicas. (Costa, 2008). Outra família existente são as ligas não

ferrosas, caso não possuam ferro na sua composição. Ligas de cobre, nomeadamente as ligas de latão ou bronze, são exemplos

de ligas que metálicas isentas de ferro na sua composição. Genericamente falando, ligas não ferrosas apresentam elevada resistência à corrosão, um preço bastante elevado, uma baixa dureza e alta ductilidade, possuindo ainda uma menor resistência à altas temperaturas quando comparado ao aço.

O aço inoxidável, também conhecido como inox, é uma liga de ferro e cromo podendo também conter níquel, molibdénio ou outros elementos. A sua principal característica é possuir alta resistência à corrosão, uma vez que o cromo, presente na liga, forma uma camada muito fina e estável, chamada camada passiva, na superfície exposta ao meio. Esta película criada pelo cromo é aderente e impermeável, tem como função proteger a superfície do aço contra processos corrosivos, isolando o metal abaixo dela do meio agressivo.

Desta forma, todos os materiais escolhidos são de aço inox de forma a evitar a corrosão dos mesmos. Parafusos, porcas e anilhas escolhidas são todos do mesmo material, assim como a estrutura da caixa. A estrutura é fabricada a partir de chapas retangulares de aço inoxidável que, através de um processo produtivo, passam por máquinas de conformação de chapas (quinadeiras, matrizes e punções) que as deformam de forma a se obter a estrutura desejada. Todo este processo de fabricação do equipamento é realizado por uma empresa subcontratada.

No fim do ciclo, o equipamento ainda sofre uma pintura exterior, mantendo o interior em aço inoxidável inalterado. O processo de pintura solicitado à empresa subcontratada é a lacagem. Este procedimento utiliza tinta em pó de poliéster, termoendurecível, que é aplicado através de uma pistola de pintura. As partículas de pó são carregadas de eletricidade estática, desta forma cria uma ligação electrostática na superfície a ser pintada e que perdura até ao final do processo (TAFE, 2018). Posteriormente, a estrutura é posta em um forno de polimerização, esta etapa fará com que se crie uma camada homogénea, de lacagem, fixando a cor desejada a chapa de inox. Todos os procedimentos devem decorrer em condições de controlo, de acordo com as normas de qualidade.

De seguida, é identificado todos os componentes essenciais para a fixação dos dispositivos, quer sejam eles eletrónicos quer sejam eles mecânicos. As Figuras 11 e

12 são meramente representativas de todas as faces do equipamento. As disposições dos desenhos estão conforme projeção ortogonal pelo primeiro diedro. Posteriormente será apresentado a lista dos materiais consoante numeração apresentada, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5. Lista de material representativo do exterior do equipamento

Pos.	Designação	Qnt.	Material	Utilização
1	Parafuso M10 × 15mm	4	Inox	Puxadores direito/esquerdo.
2	Parafuso M3 × 5mm	4	Inox	Ecrã tátil.
3	Parafuso M5 × 70mm	8	Inox	Ventiladores.
	Porca de travamento M5	8		
	Anilha M5	8		
4	Parafuso M10 × 15mm	18	Inox	Três tubos na parte superior do equipamento.
	Porca M10	18		
	Anilha M10	18		
5	Parafuso M5 × 2mm	3	Inox	Bocal de abastecimento
	Porca de travamento M5	3		
	Anilha M5	3		
6	Parafuso M6 × 15mm	8	Inox	Tampa exterior.
7	Bucim PG11	1	PVC	Passa cabo alimentação
8	Tampão	1	PVC	Escoamento de emergência.
9	Parafuso M10 × 45mm	2	Inox	Nível de líquido.
	Porca M10	2		
	Anel de vedação	2		
10	Porcas M6	16	Inox	Rodas.
11	Tampão roscado	1	Inox	Tampa escoamento.

Toda a parte exterior do equipamento foi descrita e de seguida, na secção 3.2.2.1, serão apresentados os aspetos relevantes da parte interior do equipamento de descontaminação.

3.2.2.1. Atomizador ultrassónico 10T45-10C

Os atomizadores são as bases do processo de funcionamento do equipamento de descontaminação. É através deles que são geradas a névoa do produto químico que irá se dispersar pelo ambiente a ser desinfetado. Uma vez que estes dispositivos têm de estar, obrigatoriamente, submersos no líquido para ser possível a atomização, a localização deles é na base interior do equipamento. Para tal e de forma a evitar furos na base do equipamento, uma vez que é nela que será depositado o produto químico, soldou-se 16 parafusos roscados M4 × 15mm, quatro para cada atomizador consoante Figura 13, onde serão fixados através de porcas de travamento M4.

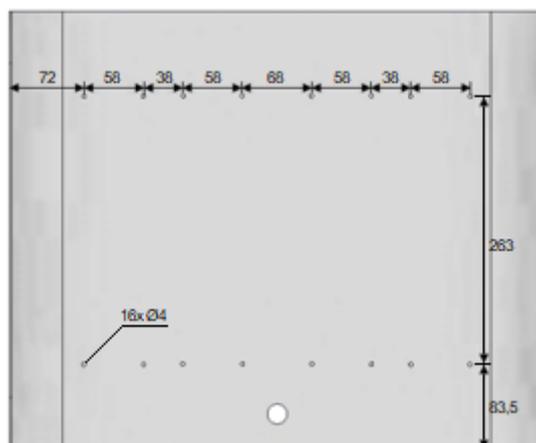


Figura 13. Base interior do equipamento para fixação dos atomizadores.

Este dispositivo eletrônico funciona entre 36V a 48V, com uma corrente máxima de 7,3A. Possui sensores que desligam, automaticamente, o aparelho quando a temperatura interna é superior ao suportado (65°C) ou quando o nível do líquido é inferior ao nível mínimo de funcionamento do mesmo (23mm). A Tabela 6 apresenta os parâmetros técnicos descritos pelo fornecedor em condições ideais (temperatura inicial do líquido de 25°C, temperatura ambiente de 30°C e humidade relativa do ambiente de 55%).

Tabela 6. Parâmetros técnicos do atomizador ultrassônico 10T45-10C

Parâmetro	10T45-10C			Unidade
	Mínimo	Ideal	Máximo	
Tensão operacional	36	42	48	V
Corrente operacional	7,3	6,7	5,8	A
Potência	350			W
Temperatura	5	25	45	°C
Névoa	10	11	13	kg/h
Nível de líquido	23	25	28	mm
Dimensões	276 × 81,5 × 54			mm
Material	ABS & PC anti corrosão			

A base interior do equipamento é o local no qual serão fixados os atomizadores ultrassônicos. Estes dispositivos apresentam, segundo desenho técnico do fabricante, dois furos em cada extremidade, de aproximadamente 5mm de diâmetro, a uma distância de 58mm, conforme Figura 14.

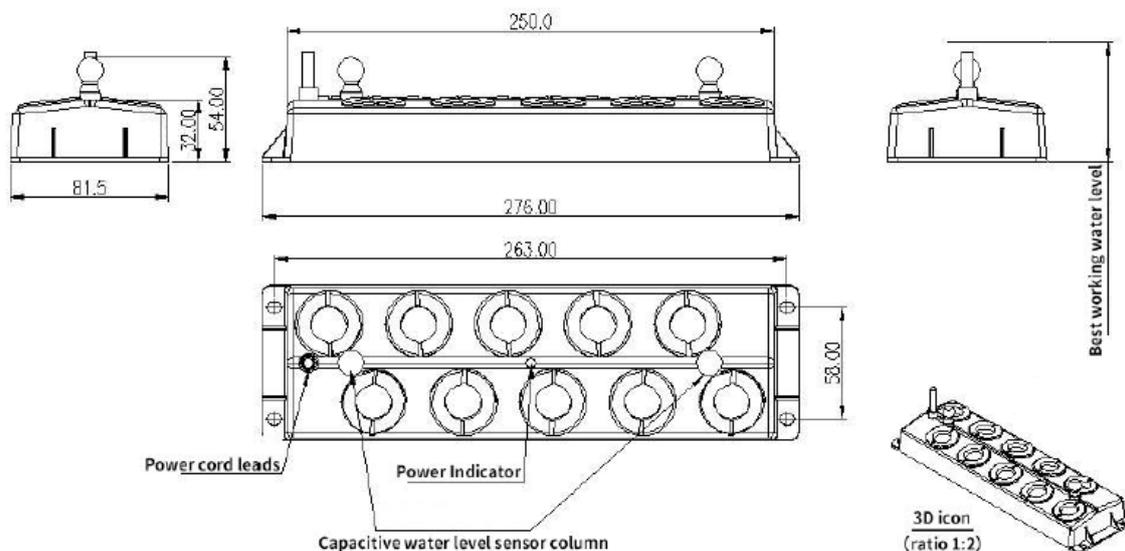


Figura 14. Desenho técnico do atomizador utilizado no equipamento.

O nível de líquido na qual a atomização é otimizada é de, segundo Tabela 6, 25mm acima das membranas ultrassônicas e para tal, é necessário definir a quantidade ideal de produto químico a ser inserido. Desta forma, é calculada o volume total do depósito quando o nível do líquido atinge o volume ideal para atomização, tendo em conta o comprimento e a largura do próprio equipamento de descontaminação, o volume total é de 12,74 litros.

Este valor refere-se ao valor total do depósito, porém deste é necessário retirar o volume ocupado pelos atomizadores. Desta forma, cada atomizador ocupa um volume de aproximadamente 0,65 litros.

Assim, o volume ocupado pelos quatro atomizadores corresponde à quatro vezes o valor obtido anteriormente. Em virtude disto, o volume ideal de líquido a ser inserido no equipamento de descontaminação de forma a ser otimizada a atomização é de, aproximadamente, 10 litros.

Desta forma, é relevante analisar os valores máximos e mínimos necessários para o funcionamento do equipamento de descontaminação, de forma a indicar ao utilizador um intervalo de líquido adequado para ser inserido. O valor mínimo equivale a uma altura mínima de 55mm, que corresponde a um volume mínimo de, aproximadamente, 9,69 litros. Analogamente, o valor máximo corresponde a uma altura máxima de 60mm que faz corresponder a um volume máximo de 10,81 litros.

A Figura 15 representa a montagem da base do equipamento. É importante salientar a necessidade de orientar os atomizadores conforme Figura 15, com os cabos de alimentação virados para a parte frontal do equipamento, para facilitar a montagem e conexão dos fios elétricos.



Figura 15. Representação do esquema de montagem dos atomizadores.

Para esta montagem além dos 4 atomizadores ultrassônicos são também necessárias 16 porcas M4 e 16 anilhas M4, ambas de inox. Tendo em conta que a tensão normal de funcionamento é, segundo Tabela 6, de 42V são necessários transformadores para alterar a tensão da rede para a tensão que permite o correto funcionamento dos atomizadores. Os transformadores escolhidos para esta função serão na secção 3.2.2.2 apresentados.

3.2.2.2. Transformador LRS-350-48

O transformador é formado tipicamente por dois enrolamentos de fios de cobre, primário e secundário enrolados num núcleo ferromagnético apresentado na Figura 16.

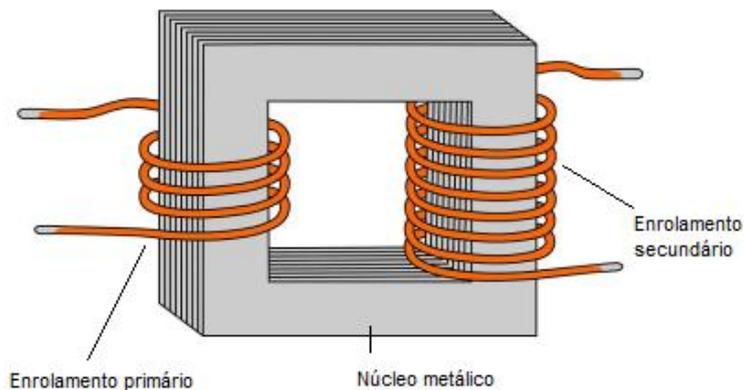


Figura 16. Transformador com enrolamentos primário e secundário.

O transformador LRS-350-48, fabricado pela *Mean Well*, possui uma tensão de saída contínua de até 48V e uma potência 350W. Desta forma é possível, através deste dispositivo, alimentar um atomizador. Assim, tendo em conta que são quatro atomizadores, serão necessários quatro transformadores. A Tabela 7 apresenta as características técnicas de cada transformador.

Tabela 7. Características técnicas do transformador LRS-350-48

Parâmetro		LRS-350-48	Unidade
Entrada	Tensão	230	V
	Corrente	3,4	A
	Eficiência	89	%
Saída	Tensão	48	V
	Corrente	7,3	A
	Potência	350,4	W
Frequência		47 – 63	Hz
Dimensões		215 × 115 × 30	mm

Na montagem dos transformadores é necessário que se mantenha uma distância entre os mesmos, evitando superaquecimento destes dispositivos. Assim, esta distância será cumprida a partir de uma chapa metálica, que ligará os dispositivos pelos seus furos nas laterais, conforme desenho técnico presente na Figura 17.

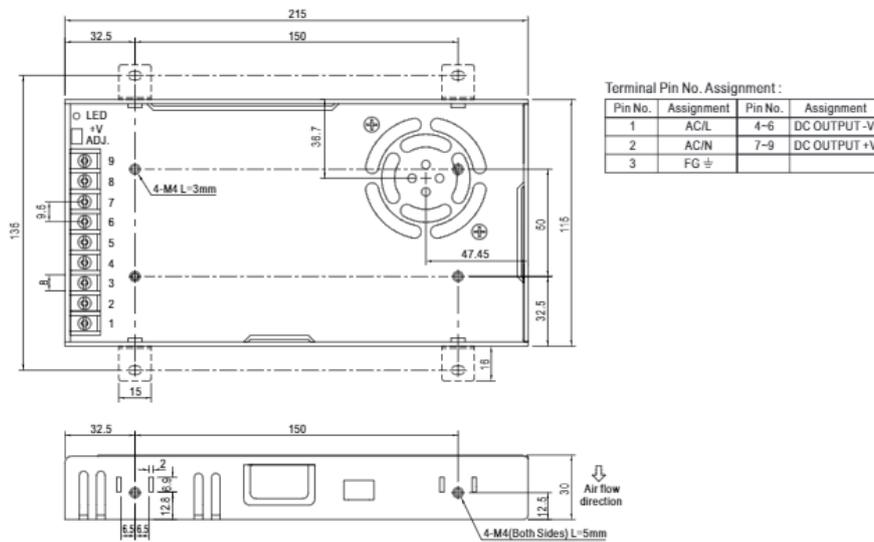


Figura 17. Desenho técnico do transformador utilizado no equipamento.

Desta forma, a chapa metálica possui dimensão de (150 × 20 × 1)mm com um distanciamento de 40mm entre furos, deixando assim uma distância de 10mm entre transformadores. A montagem destas chapas e dos transformadores é realizada conforme Figura 18. As conexões dos fios elétricos serão demonstradas a posteriori.



Figura 18. Montagem das chapas metálicas aos transformadores.

3.2.2.3. Ventilador KFL20060

Conforme a Figura 12, as ventoinhas são inseridas dentro da caixa metálica e fixadas através de parafusos e porcas adequadas ao seu comprimento. Esta fixação é

realizada após a montagem dos atomizadores conforme referido anteriormente. As informações técnicas deste elemento são presentes na Tabela 8.

Tabela 8. Parâmetro técnicos do ventilador KFL20060

Parâmetro	KFL20060 HA2	Unidade
Tensão operacional	220 – 240	V
Corrente operacional	0,37	A
Potência	57	W
Velocidade	2600	rpm
Fluxo de ar	11,3	m ³ /min
Ruído	56	dB
Dimensões	200 × 200 × 60	mm
Material	Alumínio fundido	

As dimensões das ventoinhas selecionadas para serem utilizadas no equipamento de descontaminação estão representadas na Figura 19, no desenho técnico fornecido pelo fabricante.

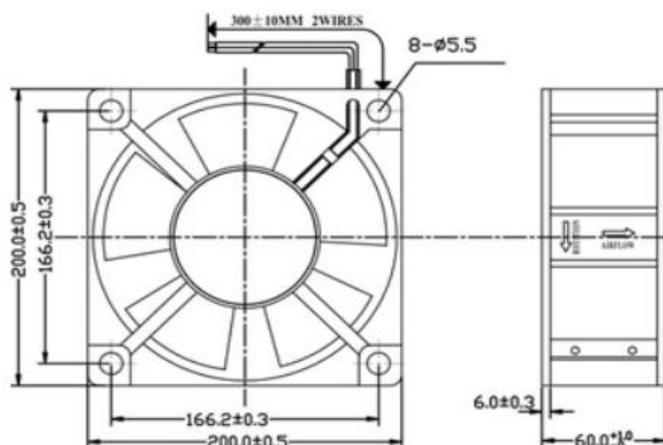


Figura 19. Desenho técnico do ventilador utilizado no equipamento.

A Figura 20 representa a montagem de uma das ventoinhas, sendo que o processo é idêntico a montagem da segunda. Neste processo é necessário analisar, antes da instalação, a direção do fluxo do ar da ventoinha. Esta informação, além de estar disponível no documento técnico do ventilador, também é possível identificar conforme seta de orientação presente no próprio equipamento. Mais uma vez, é necessário deixar o fio de ligação do aparelho virado para a parte superior esquerda da máquina de forma a facilitar a montagem dos componentes eletrônicos.



Figura 20. Representação da montagem das ventoinhas.

A próxima etapa da montagem do equipamento de descontaminação, traduz-se pela realização das conexões eletrônicas dentro da caixa metálica. Para tal e de forma a proteger tudo que sejam dispositivos eletrônicos, foi criada uma caixa estanque dentro do equipamento de desinfecção. Esta caixa impede a saída e a entrada de líquido para dentro da mesma, assim todas as ligações que sejam necessárias proteção estarão dentro desta.

3.2.3. *Design* e montagem eletrónica

Algo estanque é sinónimo de algo vedado, que impede a passagem de qualquer líquido pelo meio envolvente. Uma caixa estanque, em equipamentos industriais, refere-se a uma caixa que impede a entrada ou saída de um determinado líquido. No caso do título deste trabalho de projeto, foi necessário criar uma caixa estanque dentro do próprio equipamento de descontaminação, uma vez que os aparelhos eletrónicos não podem estar em contacto com o líquido do produto químico, muito menos com a névoa do mesmo. Desta forma foi desenvolvido a caixa estanque, conforme Figura 21. Na parte lateral esquerda da caixa estanque existem 5 furos, de 20mm de diâmetro, onde serão introduzidos os buçins para ser possível passar os cabos de conexão e manter a caixa isolada.

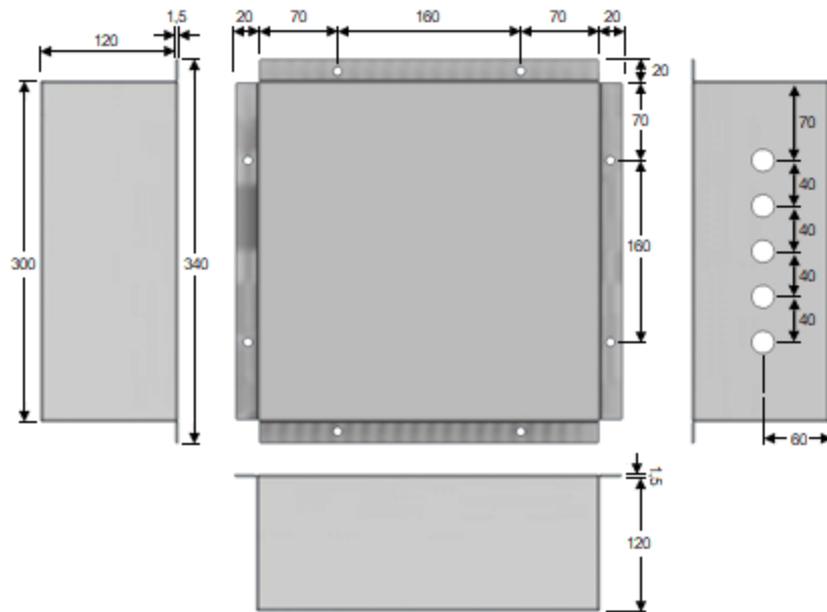


Figura 21. Cotas para fabricação da caixa estanque.

Na própria estrutura da caixa metálica existem soldados 8 parafusos M6 × 15 mm, conforme a disposição dos furos da caixa, para ser possível a fixação da mesma através de porcas de travamento M6, analogamente à fixação dos atomizadores (Figura 22).

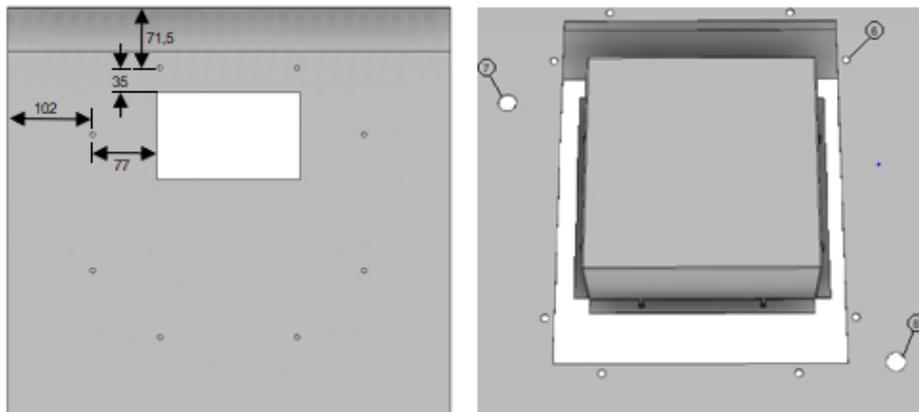


Figura 22. Fixação da caixa estanque.

Dentro da caixa estanque estarão fixados todos os transformadores, módulos de relés, fios e ainda é, a partir desta parte do equipamento, que será feita a conexão do *Raspberry* e do ecrã tátil. De seguida, serão apresentados os componentes separadamente e a sua disposição dentro da caixa estanque.

3.2.3.1. *Raspberry Pi*

Trata-se de uma placa única de tamanho reduzido que se pode conectar a um ecrã ou televisão, com funcionamento semelhante à um computador com o principal foco no controlo de dispositivos, como pequenos robôs e casas inteligentes.

Atualmente, existem diversos modelos destes dispositivos, diferindo no tipo de processador, na capacidade da memória e nas suas conexões (*Wireless, Bluetooth*). Este equipamento é compatível com sistemas operativos baseados em GNU/Linux e suporta variados tipos de linguagem de programação, como *Python, Scratch, C++*, entre outras. O modelo selecionado para este trabalho de projeto é o mais recente, o *Raspberry Pi 4 Model B*. Este modelo foi lançado em junho de 2019 e é, atualmente, o modelo que suporta a maior capacidade de memória *RAM (Random Access Memory)* que permite a leitura e escrita nos sistemas eletrónicos.

Este equipamento apresenta um processador *Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8), 64-bit 1.5GHz*, com uma memória de 2GB, porém pode ainda possuir uma memória de *4GB ou 8GB*, dependendo do modelo escolhido (Olhar Digital, 2019). Apresenta 40 pinos de conexão, 2 saídas HDMI micro, 4 portas *USB*, entre várias outras características, conforme Figura 23.

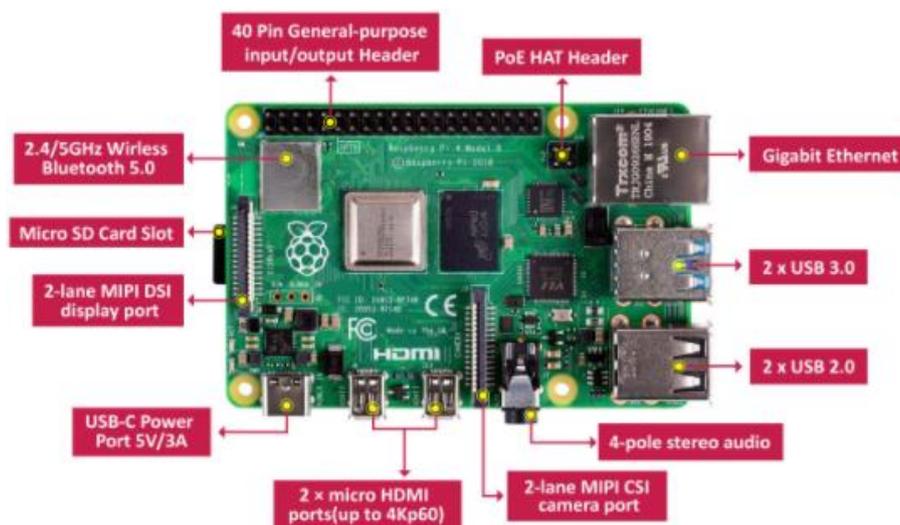


Figura 23. Características do *Raspberry Pi 4 Model B*.

É a partir da programação deste equipamento eletrónico que é realizado todo o controlo do equipamento de descontaminação. Neste é conectado módulos de relés,

ecrã tátil e até o sensor de temperatura e humidade. De seguida, é apresentado o componente, *display touchscreen*, que permite a interação do utilizador.

O *display* selecionado para o equipamento de descontaminação é do mesmo fabricante do microcontrolador, desta forma, garante-se total funcionalidade do ecrã com a placa programável. Possui uma dimensão total de 194 mm × 110 mm × 20 mm e um ecrã de 155 mm × 86 mm, com uma resolução de 800 × 480 pixels. Este é conectado ao *Raspberry* através de um cabo de fita pela porta lateral esquerda da placa, porta *DSI*, conforme Figura 24.

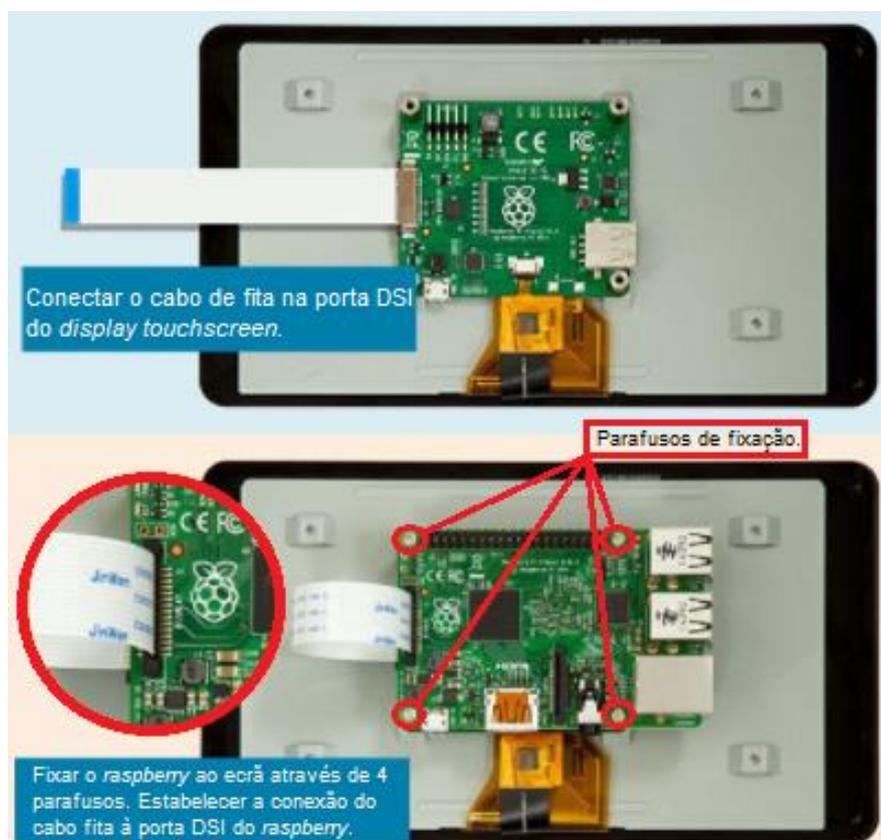


Figura 24. Conexão do *display touchscreen* com o *Raspberry Pi 4*.

3.2.3.2. Módulo 4 Relés 5V

Um relé trata-se de um dispositivo eletromecânico, com função semelhante à um interruptor, com diversas aplicações possíveis sendo a mais comum ligar ou desligar outros dispositivos. É composto por uma bobina e um contato preso a uma mola, que conecta com os terminais nas posições Normalmente Aberto (NA) ou Normalmente Fechado (NF). Ao ser introduzido energia nesse circuito, a bobina cria um campo

eletromagnético que atrai e faz deslocar o contato para a posição oposta à de repouso, deixando ou não passar corrente elétrica para o circuito, conforme for a ligação dos fios (Figura 25).



Figura 25. Saídas para ligações dos fios de um relé.

No caso deste trabalho de projeto, a função única e principal do relé é comandar ações de ligar e desligar os atomizadores. Desta forma e através do *Raspberry* e do visor tátil é realizada uma programação, para quando o utilizador selecionar a opção “ligar”, ser dada a informação ao relé para ativar o atomizador. A explicação da programação será posteriormente apresentada. Tendo em conta que o equipamento de descontaminação possui nele 4 atomizadores, serão necessários 4 relés para cada um comandar um único atomizador. Cada interruptor eletromecânico escolhido possui as seguintes características técnicas apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9. Características técnicas do relé

Parâmetro	SRD-05VDC-SL-C	Unidade
Tensão operacional	5	V
Tensão de saída	corrente contínua: 30 corrente alternada: 250	V
Corrente operacional	15 – 20	mA
Corrente de saída	10	A
Tempo de resposta	5 – 10	ms
Dimensões	8 × 6 × 2	cm
Material	Plástico	

De forma a simplificar o circuito a ser construído, em vez do equipamento possuir 4 relés únicos para ativação dos outros dispositivos, optou-se por utilizar um módulo com 4 destes relés, conforme Figura 26.



Figura 26. Módulo de 4 relés de 5V.

3.2.3.3. Sensor DTH11

Um sensor é um dispositivo que responde a um estímulo físico ou químico de forma específica. Luz, calor, movimento, humidade são exemplos de estímulos que quando em contacto com um sensor, este emite um sinal capaz de ser convertido e interpretado por outros dispositivos.

Um sensor de temperatura e humidade, como no caso do utilizado neste trabalho de projeto, permite monitorar os dois parâmetros utilizando apenas um dispositivo de sensor. Desta forma, é simplificado o número de componente do circuito. É através deste sensor que será dada a informação ao utilizador das condições ambientais do local a ser descontaminado apresentado na Figura 27.



Figura 27. Sensor de humidade e temperatura DTH11.

Este sensor possui um intervalo de medição de temperatura de 0°C a 50°C e a humidade relativa varia entre 20% a 90%. Este tipo de sensor é frequentemente utilizado em projetos de microcontroladores. Na Tabela 10 são apresentadas as características técnicas do sensor de humidade e temperatura DTH11.

Tabela 10. Informação técnica do sensor DTH

Parâmetro		DTH11	Unidade
Temperatura	Faixa de medição	0 – 50	°C
	Erro de medição	±2,0	°C
Humidade Relativa	Faixa de medição	20 – 90	%
	Erro de medição	±5,0	%
Alimentação		3 – 5	V
Corrente máxima		500	mA
Tempo de resposta		2	s
Dimensões		23 × 12 × 5	mm

Com o sensor de humidade e temperatura DTH11, é possível obter a comunicação com o sistema operativo do *Raspberry* e, desta forma, é apresentado ao utilizador as informações da temperatura e humidade do local a ser descontaminado. Como visto anteriormente, estes parâmetros influenciam a nebulização do peróxido de hidrogénio e com a sua monitorização, é possível alterar as condições do meio ambiente para as condições ditas “ideais” de temperatura e humidade. Estas condições são determinadas a partir de testes executados em laboratório.

A ligação do *Raspberry* com todos os outros dispositivos é feita com fios, conforme diagrama da imagem B da Figura 28. As conexões feitas no microcontrolador seguem configuração dos seus pinos, de acordo com imagem A da mesma Figura 28. O pino que recebe o sinal de 5V (pino mais à direita) do módulo de relés, está ligado ao primeiro pino direito do bloco de pinos do *Raspberry*. O pino *ground* do mesmo dispositivo (pino mais à esquerda) está ligado quinto pino esquerdo do *Raspberry*. Os restantes pinos dos relés estão todos ligados entre si e ao sexto pino do microcontrolador, que corresponde ao “*Wpi0*”, designação que será usada na programação do microcontrolador. Por sua vez, em relação ao pino do sensor DHT11 que recebe sinal de 3,3V (pino mais à direita) está ligado ao primeiro pino esquerdo do *Raspberry* e o pino *ground* (mais à esquerda) está conectado ao sétimo pino direito do bloco de pinos do dispositivo programável. O pino central do sensor, que recebe sinal, está ligado ao “*Wpi7*”, quarto pino esquerdo do microcontrolador. Por fim, o ecrã está ligado ao segundo e terceiro pinos do *Raspberry*, que fazem corresponder ao sinal de 5V e o *ground*, respetivamente.

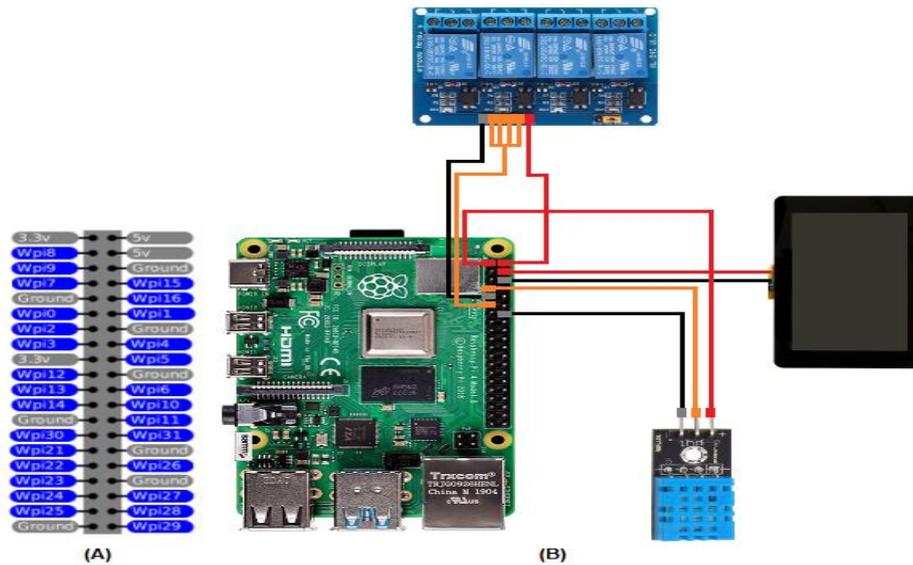


Figura 28. Esquema de ligação. A - Saída dos pinos do *Raspberry*. B - Esquema de ligações.

Por sua vez, a saída de cada relé está diretamente ligada aquilo que será necessário controlar, que no caso deste trabalho de projeto representa os atomizadores. Desta forma, os relés transmitirão aos atomizadores informações de ligar, quando houver passagem de corrente, ou desligar, quando a mesma for interrompida. A seguir, na Figura 29, é representado o esquema de ligações de um relé ao atomizador e a sua fonte de alimentação. O mesmo se repete para os restantes atomizadores e transformadores.

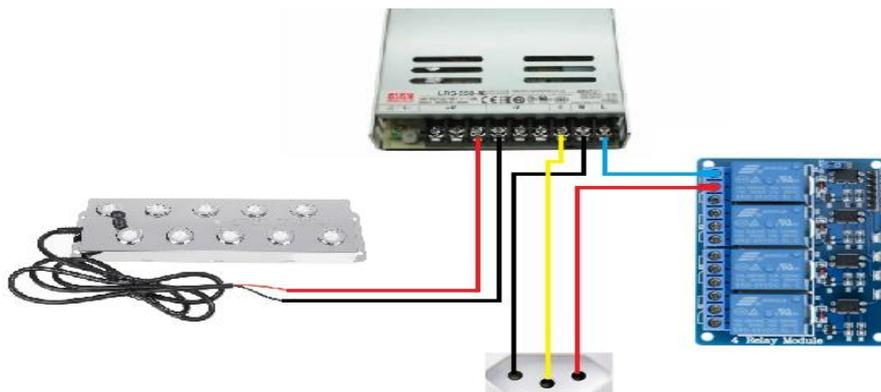


Figura 29. Esquema de ligação de um relé, transformador e atomizador.

Todos estes esquemas de ligações estão situados dentro da caixa estanque, evitando qualquer possível contacto com a névoa ou líquido de peróxido de hidrogénio. Os fios dos atomizadores entram na caixa estanque através dos bucinos contidos na lateral

esquerda da mesma e é da mesma forma que é passada uma ficha de alimentação para ser ligada à rede elétrica. E assim, é desta forma, construído todo o interior do equipamento de descontaminação e todas as conexões elétricas. A etapa paralela à construção da construção deste protótipo é a programação do mesmo e para tal, é utilizado um programa designado *Qt Creator*.

3.2.4. Qt Creator

Desenvolvido em 1991 por uma empresa sediada na Noruega, a Trolltech, o *Qt* é uma biblioteca de desenvolvimento de aplicações e projetos. Atualmente, existem diversas versões disponíveis, dentro delas o *Qt Designer*, *Qt Creator*, entre outros, cada uma adequada a um tipo de ambiente e filosofia de desenvolvimento. Em 2008, a Nokia adquiriu a Trolltech e mudou o seu nome para *Qt Development Frameworks*.

Além de possuir diversas versões do próprio programa, o *Qt* oferece suporte para a construção e execução de aplicativos para ambientes de *desktop* (*Windows*, *Linux*, *FreeBSD* e *Mac OS*), dispositivos móveis (*Android*, *BlackBerry*, *iOS*, *Maemo* e *MeeGo*) e dispositivos *Linux* embarcados (Ziller, 2020).

No princípio do ano de 2009, ao fim de muitos anos de criação foi lançado o *Qt Creator*. Esta versão do *Qt* permite ao usuário criar programas utilizando diversas linguagens de programação, como C++ por exemplo, recorrendo à elementos de programação visual. Ou seja, os programas podem ser desenvolvidos selecionando e projetando os componentes gráficos, como botões e caixas, utilizando simplesmente o rato do computador tornando-o, desta forma, mais fácil para os novos usuários se habituarem ao ambiente de desenvolvimento. Desta forma, a conceção de uma interface gráfica é de forma dinâmica e simples. O editor de código oferece suporte para várias linguagens, sendo possível compor e customizar os atalhos e testá-los.

É neste ambiente que é desenvolvido o programa utilizado no equipamento de descontaminação, utilizando a linguagem C++. A idealização do mesmo baseia-se em uma simples aplicação que apresente ao utilizador determinados parâmetros, como humidade e temperatura, e que permita escolher o tempo de ciclo desejado para ser realizado a descontaminação. A aplicação desenvolvida foi construída de modo a apresentar ao consumidor a opção de idioma em português ou em inglês e ainda

possui um sistema de segurança de login, onde só as pessoas que possuam uma certa e determinada palavra-passe possa aceder ao programa.

3.2.4.1. Programa desenvolvido

A aplicação foi desenvolvida em ambiente do *Qt Creator* versão 5.15.2 de 64-bit junto com a biblioteca do *SQLite Studio* versão 3.2.1. Ao criar uma aplicação no *Qt* são pré-concebidos três tipos de ficheiros: um ficheiro *Header* (.h), ou de cabeçalho, que possui códigos para o compilador executar outras partes do programa; ficheiro *Source* (.cpp), ou fonte, que possuem as implementações do projeto de desenvolvimento e por fim um ficheiro *Form* (.ui), ou de forma, onde é possível criar a interface gráfica da aplicação a desenvolver. De seguida são apresentadas o *design* da aplicação desenvolvida e fragmentos importantes do código de programação desenvolvido.

- Menu

Trata-se da primeira janela apresentada que servirá para escolha de idioma pretendido pelo utilizador. Ao escolher o idioma em inglês, todas as janelas apresentadas posteriormente serão neste idioma, caso selecionado o idioma em português, todas as janelas estarão nesta linguagem.

- menu.ui

O *design* escolhido para a janela principal está representado na Figura 30.

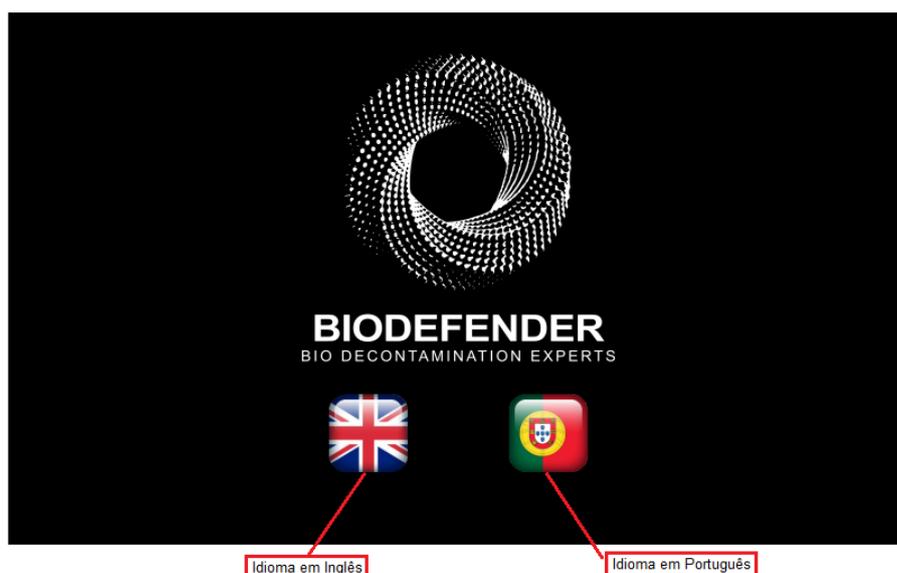


Figura 30. Primeira janela, designada como "Menu".

Uma vez que o logotipo da empresa possui cor branca, o fundo escolhido para toda a aplicação foi o preto de forma a possuir um maior contraste. Deste modo, a janela primária e principal da aplicação foi designada como “menu” e nesta apenas apresenta o logotipo da empresa e dois botões para a seleção do idioma pretendido (português/inglês).

- o menu.h

Este ficheiro, e qualquer outro ficheiro *header*, começa com a definição do próprio ficheiro através das funções `#ifndef` e `#define`, ambos seguidos do nome do ficheiro e acaba a sua programação através da função `#endif`. Além disto, é necessário incluir os ficheiros `.h` das janelas que serão abertas a partir do clique do botão do idioma (“`menu_english.h`” e “`menu_portuguese.h`”). Esta programação pode ser demonstrada a partir da Figura 31.

```
#ifndef MENU_H
#define MENU_H
#include <QMainWindow>
#include "menu_english.h"
#include "menu_portuguese.h"
...
#endif // MENU_H
```

Figura 31. Início do programa do ficheiro "menu.h".

Além das características pré-definidas aquando da criação de uma aplicação no *Qt Creator*, são originados dois *slots* privados que permitem a comunicação entre objetos, neste caso, funções que serão definidas no ficheiro `.cpp`. A Figura 32 apresenta o corpo do ficheiro “menu.h” que dá origem aos *slots* privados.

```

...
QT_BEGIN_NAMESPACE
namespace Ui { class menu; }
QT_END_NAMESPACE
class menu : public QMainWindow
{
    Q_OBJECT

public:
    menu(QWidget *parent = nullptr);
    ~menu();
    QIcon logo,en,pt;

private slots:
    void on_en_clicked();
    void on_pt_clicked();

private:
    Ui::menu *ui;
};
...

```

Figura 32. Definição dos *slots* privados no ficheiro "menu.h".

- o menu.cpp

No ficheiro *source* é incluído a grande parte da programação. Analogamente ao ficheiro *.h*, inicialmente é sempre necessário incluir o ficheiro *.h* e *.ui* do mesmo arquivo ("menu.h" e "ui_menu.h"). De seguida é feita a definição da janela, como um "QWidget *parent" conforme demonstrado na Figura 33. Esta definição é igual para todas as janelas, alterando apenas o nome das mesmas.

```

#include "menu.h"
#include "ui_menu.h"
menu::menu(QWidget *parent):
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::menu)
{
    ui->setupUi(this);
...
}
menu::~menu()
{
    delete ui;
}
...

```

Figura 33. Definição da janela em "menu.cpp".

Posteriormente à formação da janela menu, descrito pela Figura 33, linha 7, são feitas definições da parte gráfica. Esta fase é necessária para garantir que imagens, como

logotipo e bandeiras referentes aos idiomas, permaneçam inalteradas ao longo de todo o programa e no local correto. Funções como `SetWindowTitle()` define o título da janela em questão e a função `setIcon()` adiciona a imagem definida no ícone selecionado. A Figura 34 apresenta a definição dos logotipos e bandeiras que são apresentadas no menu.

```
...
{
    ui->setupUi(this);
    setWindowTitle("Biodefender");
    logo.addFile(":/image/logos/Logo.png");
    en.addFile(":/image/logos/en.jpg");
    pt.addFile(":/image/logos/pt.png");
    ui->logo->setIcon(logo);
    ui->pt->setIcon(pt);
    ui->en->setIcon(en);
}
...
```

Figura 34. Definição do logotipo e bandeiras da janela "Menu".

Por fim, neste ficheiro é feita a definição das funções (`void`) aquando o clique nos botões. O objetivo do clique no botão de idioma é que assim que este é feito, é aberta uma nova janela consoante a escolha da linguagem. Neste caso, esta operação é feita a partir do comando `.exec()` existente na linguagem C++, conforme Figura 35.

```
...
void menu::on_en_clicked()
{
    menu_english m_en;
    m_en.exec();
}
void menu::on_pt_clicked()
{
    menu_portuguese m_pt;
    m_pt.exec();
}
```

Figura 35. Programação das funções dos cliques dos botões.

De seguida serão apresentados as janelas e novos menus que surgem no caso de o utilizador escolher a opção da linguagem portuguesa. É de salientar que a disposição e *design* de um idioma para o outro é idêntico, apenas diferenciando a língua utilizada.

- Menu português

Este menu é aberto quando é feito o clique no botão com a bandeira de Portugal. Serve como menu intermediário entre o menu da escolha do idioma e o menu principal de descontaminação.

- menu_portuguese.ui

Graficamente, nesta janela existem dois botões possíveis para clique. O botão no canto superior direito serve para o utilizador alterar o idioma e o botão escrito *Start* servirá para passar a próxima janela, a do *login*.

Caso o utilizador carregue no botão de alteração de idioma, automaticamente esta janela será fechada e aparecerá novamente o primeiro menu, visto anteriormente. Caso o utilizador carregue no botão de início de programa, automaticamente será aberta uma nova janela, a do *login*, para que o mesmo possa introduzir os dados de autenticação. O *design* da janela designada por menu_portuguese é mostrado na Figura 36. É de salientar que a janela apresentada quando selecionada a língua inglesa é idêntico ao apresentado abaixo.

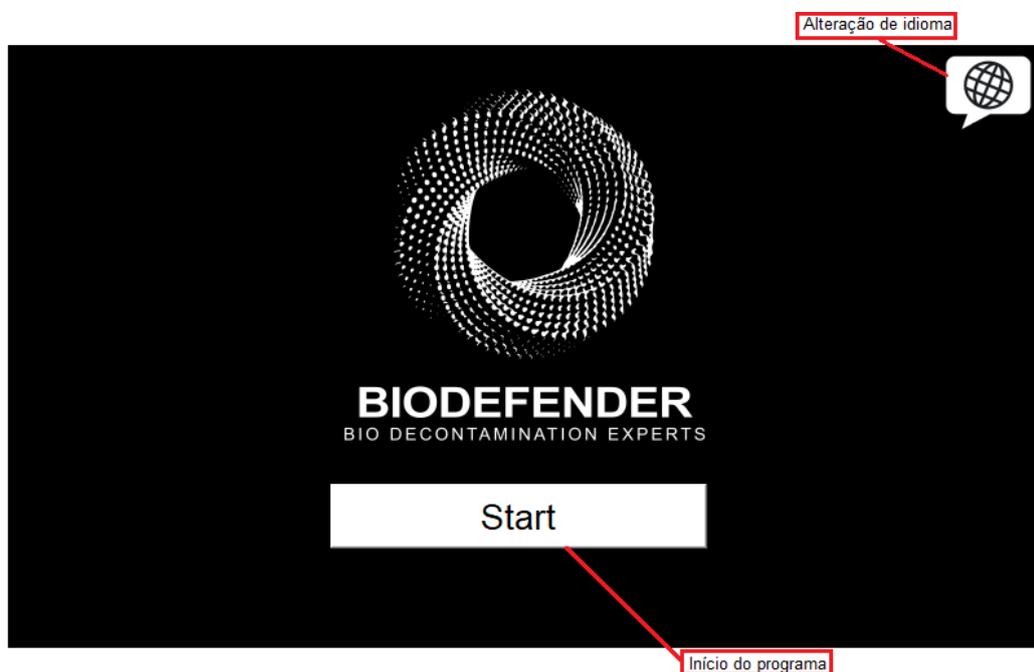


Figura 36. Segunda janela, designada “menu_portuguese”.

- o menu_portuguese.h

Neste arquivo .h é feita a definição da janela, juntamente com a inclusão de algumas bibliotecas necessárias, como <QMessageBox>, e também da importação da janela referente ao *login* ("login_pt.h"), como mostra a Figura 37. Ainda nesta etapa é realizada, também, a definição das funções do clique dos botões: "void on_login_clicked()" caso o utilizador escolha a opção de início de programa e "void on_language_clicked()" caso deseje mudar de idioma.

```
#ifndef MENU_PORTUGUESE_H
#define MENU_PORTUGUESE_H
#include <QDialog>
#include <QMainWindow>
#include <QMessageBox>
#include "login_pt.h"
...
private slots:
    void on_login_clicked();
    void on_language_clicked();
...
#endif // MENU_PORTUGUESE_H_H
```

Figura 37. Definição da janela "menu_portuguese.h".

- o menu_portuguese.cpp

Da mesma forma que foi definido no primeiro menu, neste ficheiro é feita a construção das funções dos cliques nos botões, conforme mostra a Figura 38. Desta maneira, caso o utilizador carregue no botão de *start* irá ser aberta nova janela de *login*, (*login_pt*) e caso necessite mudar de idioma e carregar no botão definido para tal, a única ação associada a este clique será fechar a janela do menu_portuguese através do comando "this->close()", e assim, o programa voltará para o primeiro menu.

```

#include "menu_portuguese.h"
#include "ui_menu_portuguese.h"
...
void menu_portuguese::on_login_clicked()
{
    login_pt l_pt;
    l_pt.exec();
}
void menu_portuguese::on_language_clicked()
{
    this->close();
}

```

Figura 38. Definição da janela "menu_portuguese.cpp".

De seguida será apresentada a janela caso o utilizador seleccionasse o botão *start*.

- login_pt

Uma vez que o equipamento de descontaminação possui produtos que são nocivos à saúde humana, é necessário proteger o programa para evitar o uso desadequado da máquina. Desta forma, foi criado uma secção onde apenas utilizadores credenciados possam usufruir do equipamento. Esta secção é definida como o *login* da máquina.

- login_pt.ui

Esta janela representa a parte de autenticação do equipamento de descontaminação para ser possível o acesso ao menu de desinfeção. Apresenta uma dimensão inferior aos outros menus, com uma resolução de 620 × 420 pixels. Possui dois campos para inserção do nome do usuário e a sua palavra-passe.

O teclado é construído a partir de botões e o clique no botão “Entrar” permite, ou não, o acesso ao resto do programa. O *design* assemelha-se aos anteriores, possuindo um fundo preto com botões brancos. Existe ainda um botão de “home” para voltar ao menu anterior, caso necessário. A Figura 39 apresenta a disposição dos botões do menu de *login*.

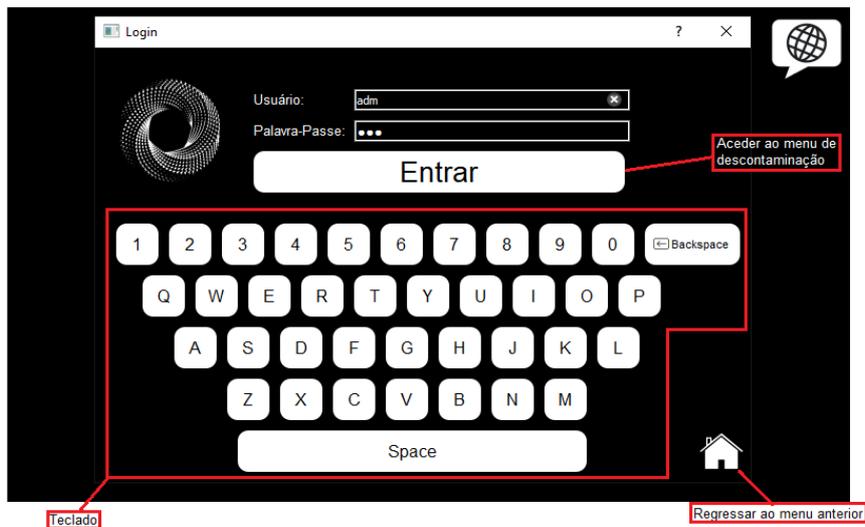


Figura 39. Janela de login, designada por login_pt.

- o login_pt.h

Neste ficheiro foram feitas as definições das funções do clique do botão “Entrar” (`void on_LoginButton_clicked()`) e do clique de todos os botões que formam o teclado (`void on_B1_clicked(), ...`), o nome dado a cada botão é Bx, onde o x representa a letra ou número a definir. Além disto, foram definidas duas funções para dar resposta a mudança do cursor no campo da inserção do usuário e da palavra-passe (`void on_UserEdit_cursorPositionChanged(int arg1, int arg2), ...`) como mostra a Figura 40.

```

#ifndef LOGIN_PT_H
#define LOGIN_PT_H
...
public:
    explicit login_pt(QWidget *parent = nullptr);
    ~login_pt();
    QString username, password, letter;
    QIcon back, logo, home;
    static bool userclicked, passclicked;
private slots:
    void on_LoginButton_clicked();
    void on_UserEdit_cursorPositionChanged(int arg1, int arg2);
    void on_PassEdit_cursorPositionChanged(int arg1, int arg2);
    void on_B1_clicked();
    void on_B2_clicked();
...
#endif // LOGIN_PT_H

```

Figura 40. Definição do menu "login_pt.h".

- o login_pt.cpp

Este arquivo é um pouco mais extenso do que os anteriores, uma vez que além das definições habituais neste tipo de ficheiro, é necessário construir todas as funções dos cliques dos botões do teclado. Assim, inicialmente foram criadas duas variáveis globais booleanas nesse ficheiro (“bool login_pt::userclicked” e “bool login_pt::passclicked”) que adotam dois valores: falso ou verdadeiro. E estas foram definidas inicialmente como falso como é possível de se observar na Figura 41.

```
#include "login_pt.h"
#include "ui_login_pt.h"
bool login_pt::userclicked;
bool login_pt::passclicked;
login_pt::login_pt(QWidget *parent) :
    QDialog(parent),
    ui(new Ui::login_pt)
{
    ui->setupUi(this);
...
    login_pt::userclicked = false;
    login_pt::passclicked = false;
}
login_pt::~login_pt()
{
    delete ui;
}
...
```

Figura 41. Definição do menu "login_pt.cpp".

Estas variáveis globais servirão para auxiliar o programa na seleção do campo de texto a ser alterado. Ou seja, quando o utilizador escolhe o campo de usuário (UserEdit) para escrever, a variável `login_pt::userclicked` assume o valor de verdadeiro (*true*) e a outra permanece a *false*, desta forma quando o utilizador carregar no botão para escrever a letra “a”, por exemplo, haverá na função do clique do botão uma condição. Esta condição escreve a letra desejada no campo de usuário caso a variável referente a este estiver a *true*, da mesma forma que escreve no campo da “palavra-passe” (PassEdit), caso se a variável `login_pt::passclicked` tenha o valor de verdadeiro. A Figura 42 demonstra o que foi referenciado anteriormente. Analogamente como é construída a função do clique do botão da letra a, são feitas as outras funções das restantes letras e números que compõem o teclado, alterando apenas a variável “letter” para a letra ou número em questão.

```

...
void login_pt::on_UserEdit_cursorPositionChanged(int arg1, int arg2)
{
    login_pt::userclicked = true;
    login_pt::passclicked = false;
}
void login_pt::on_PassEdit_cursorPositionChanged(int arg1, int arg2)
{
    login_pt::userclicked = false;
    login_pt::passclicked = true;
}
void login_pt::on_BA_clicked()
{
    letter = "a";
    if(login_pt::userclicked == true and login_pt::passclicked ==
false) {
        ui->UserEdit->setText(ui->UserEdit->text() + letter);
    }
    if(login_pt::userclicked == false and login_pt::passclicked ==
true) {
        ui->PassEdit->setText(ui->PassEdit->text() + letter);
    }
}
...

```

Figura 42. Construção da programação da definição do teclado.

Desta forma, a única função que ainda faz parte deste arquivo é a função do clique do botão “Entrar”. Como visto anteriormente, este botão permite ou não o acesso do utilizador a próxima janela. Estas condições são feitas através das comparações do que foi escrito no campo do usuário e no campo da palavra-passe com aquilo que foi definido no código, de acordo com a Figura 43, foram definidos “adm” para usuário e “123” para a palavra-passe.

```

void login_pt::on_LoginButton_clicked()
{
    username = ui->UserEdit->text();
    password = ui->PassEdit->text();
    if(username == "adm" and password == "123") {
        this->close();
        zone_portuguese z_pt;
        z_pt.exec();
    }else{
        QMessageBox::warning(this, "Erro", "Nome de usuário ou
palavra-passe inválidos. Tente novamente.");
        ui->PassEdit->clear();
        ui->PassEdit->setFocus();
    }
}
}

```

Figura 43. Definição do login do usuário.

Desta forma, caso os dados inseridos estejam corretos será fechada a janela de *login* e aberta a próxima janela, a *zone_portuguese*. Caso os dados estejam errados, é mostrado ao utilizador um aviso com a seguinte informação da Figura 44.

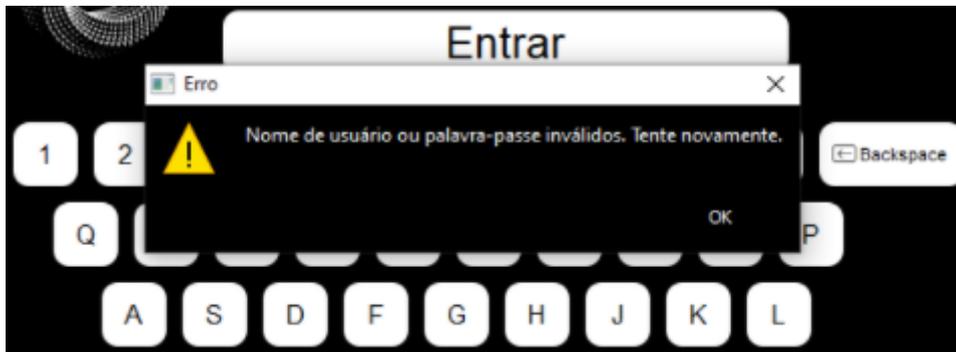


Figura 44. Aviso de erro na inserção do nome do usuário ou palavra-passe.

- *zone_portuguese*

Se o nome do usuário e a palavra-passe inseridos pelo utilizador estiverem corretas, é aberto a nova janela de menu de desinfeção. É neste menu que é possível ligar o equipamento, consultar parâmetros ambientes de temperatura e humidade e consultar outras informações como o tempo de vida do equipamento.

- *zone_portuguese.ui*

O *design* desta janela foi projetado para ser o mais simples de modo a facilitar a utilização do cliente. Existe uma secção onde possui os tempos pré-definidos para funcionamento, de 5 a 60 minutos, onde também é possível inserir, pelo teclado alfanumérico, um valor definido pelo próprio utilizador seleccionando a opção “Outro”.

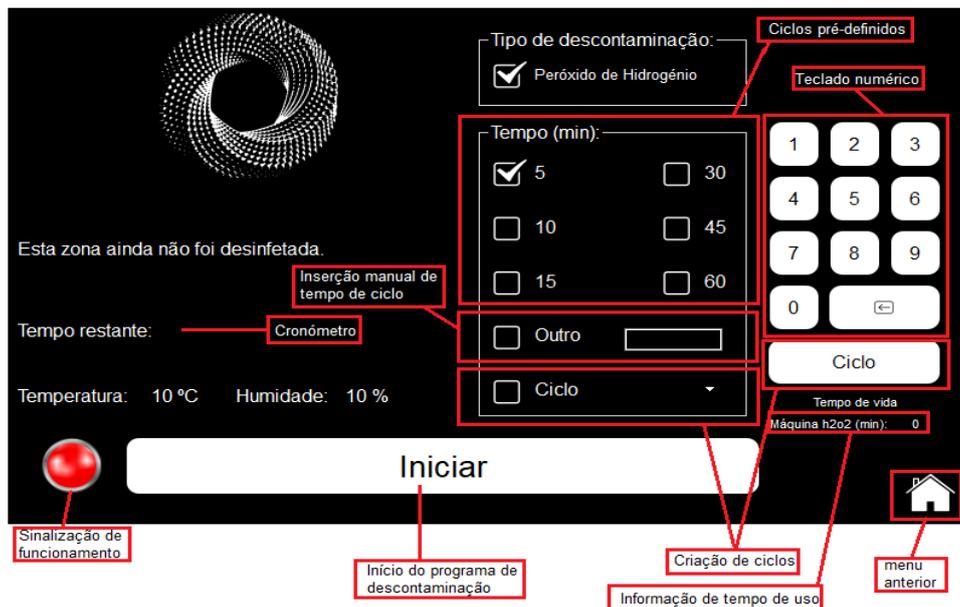


Figura 45. Janela de descontaminação, designada por zone_portuguese.

Ainda são apresentados os valores dos parâmetros de temperatura e humidade, assim como o tempo restante do processo, caso a máquina esteja em funcionamento. É feita uma sinalização no ecrã com um ícone de luz que se torna vermelho, caso a máquina esteja desligada, e que muda para verde quando a atomização está a ser feita.

A Figura 46 apresenta as etapas necessárias para ligar o equipamento. Neste exemplo, o utilizador selecionou a opção “Outro” e introduziu o valor de 8 minutos de descontaminação e posteriormente carregou no botão “Iniciar”. De seguida, é mostrado ao usuário uma mensagem onde solicita a confirmação de início de descontaminação (Figura 46 A), e caso a resposta seja positiva, uma nova mensagem é mostrada (Figura 46 B). Esta segunda mensagem, solicita ao utilizador que se retire do local a ser desinfetado, para não entrar em contacto com o produto químico atomizado. O equipamento está programado para começar a atomização após 30 segundos aquando do aparecimento da mensagem representada em (Figura 46 B).

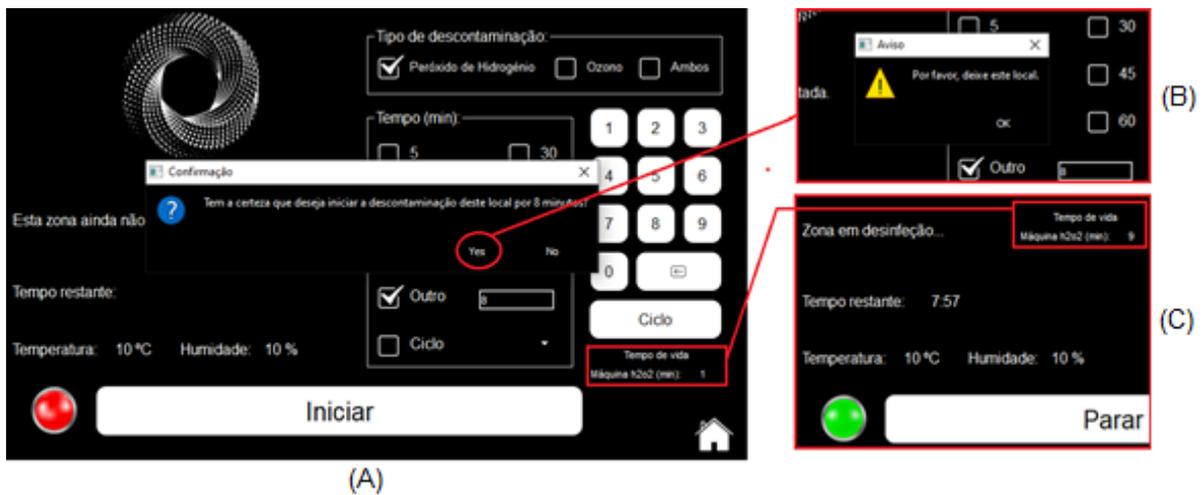


Figura 46. Janela de descontaminação, designada por zone_portuguese.

Após início da descontaminação (Figura 46 C), o contador surge em forma decrescente, o ícone da luz muda para verde e o botão que antes era para “Iniciar” é alterado para “Parar”, caso seja necessário interromper a desinfecção. Ainda é acrescentado o tempo selecionado ao tempo de vida do equipamento de descontaminação.

Caso o utilizador deseje interromper o ciclo, carregando no botão “Parar”, é apresentado uma mensagem solicitando a confirmação desta ação e se a resposta for positiva, o equipamento é desligado e seguidamente é apresentada a informação que a descontaminação foi interrompida, conforme Figura 47 A. Em contrapartida, caso não seja necessário interromper a descontaminação a atomização continuará e após o término do tempo definido, Figura 47 B, o utilizador é informado que o processo de desinfecção está concluído e é apresentado a quantidade de produto atomizado.



Figura 47. A - Representação da interrupção do ciclo. B – Representação do fim do ciclo.

- new_cicle_portuguese

Ainda é possível, através do botão “Ciclo”, inserir um tempo de um ambiente definido pelo utilizador. Esta função torna-se usual quando, por exemplo, é necessário utilizar a máquina em um ambiente que será desinfetado diversas vezes ao dia ou semana.

- new_cicle_portuguese.ui

Ao carregar no botão “Ciclo” irá ser aberta uma nova janela para introdução do nome do ciclo e o tempo necessário, conforme Figura 48.

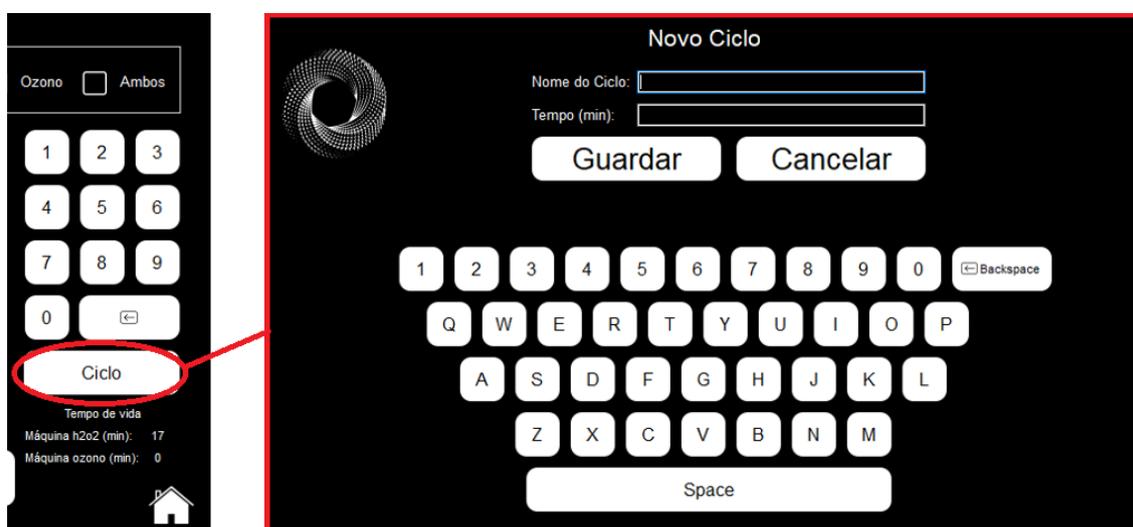


Figura 48. Janela para criação de um novo ciclo.

Por exemplo, em uma escola que exista uma sala de aula que requer 8 minutos de descontaminação, é criado um ciclo com o nome “sala de aula” e introduzido o tempo necessário para eliminação dos vírus e bactérias, neste caso, 8 minutos. Quando o utilizador carregar no botão “Guardar”, Figura 49 A, estes dados ficarão pré-programados no menu de descontaminação e desta forma, sempre que for necessário desinfetar esta sala de aula em específico, o utilizador pode selecionar a opção “Ciclo” juntamente com a opção “sala de aula”, Figura 49 B, e assim, a descontaminação será feita durante 8 minutos, como definido.



Figura 49. Introdução de um novo ciclo. A - Criação de um ciclo "sala de aula" com 8 minutos. B - Utilização da opção "Ciclo" no menu de descontaminação.

É desta forma composto o programa para ser feita a descontaminação de um ambiente. Este programa foi feito de forma a ser o mais simples possível para que qualquer usuário tenha capacidade de aceder às funções básicas do equipamento.

- o zone_portuguese.h e zone_portuguese.cpp

Os códigos destes arquivos foram ocultados a pedido da empresa. Porém foram criadas apenas funções e variáveis necessárias para o funcionamento, conforme explicado anteriormente. Ações de inverter a saída dos relés, de modo a ligá-los ou a desligá-los, são executadas através da função `digitalWrite(0, !digitalRead(0))`. Esta função inverte o sinal enviado para o dispositivo, ou seja, caso este esteja desligado (recebe o valor 0) e for solicitado pela função, passará a receber o valor 1, estabelecendo a ligação do dispositivo, e vice-versa.

É nesta fase do programa que é necessário estabelecer a ligação com o banco de dados (ficheiro `BiodefenderBasic_Login_pt-en.db`) no programa *SQLite Studio*. Este ficheiro está organizado em três tabelas ("cicle", "history" e "temhum"), conforme mostra a Figura 50.

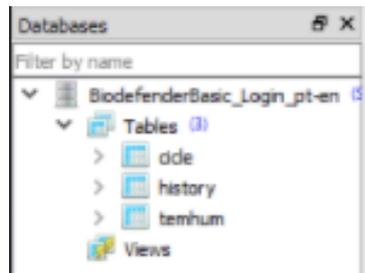


Figura 50. Tabelas existentes no banco de dados, “cicle”, “history” e “temhum”.

Na tabela designada por “cicle”, são armazenados os dados referentes à criação de novos ciclos pré-definidos pelo utilizador. Esta tabela possui duas colunas, das quais uma representa o nome do ciclo (“name”) e a outra o tempo selecionado pelo usuário (“time”). Ambos as variáveis são do tipo VARCHAR, ou seja, trata-se de um conjunto de dados de caracteres com um comprimento indeterminado. A Figura 51, demonstra o dados contidos nesta tabela após exemplo de definição de ciclo com o nome “sala de aula” e um tempo de descontaminação de 8 minutos.

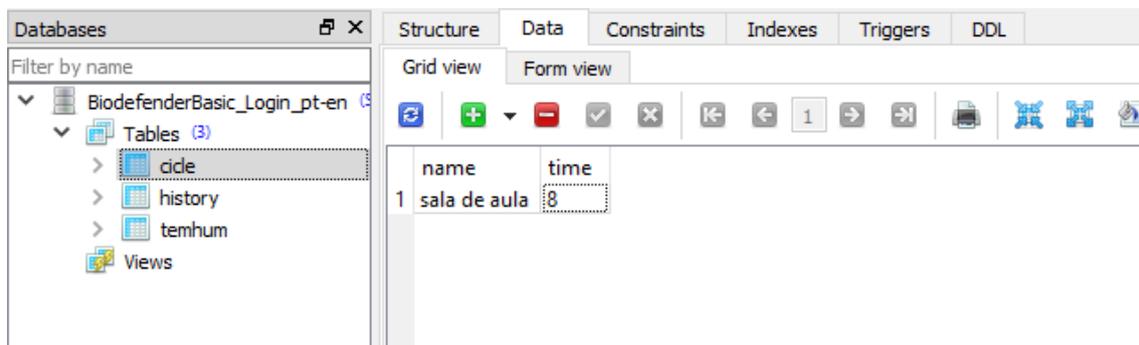


Figura 51. Tabela designada por "cicle".

“History” representa uma tabela que armazena os dados essenciais da máquina, ou seja, quando ela é ligada ou desligada. Esta lista é dividida em quatro colunas, sendo uma para a descrição do acontecimento, “description”, uma segunda para o tempo selecionado, “time”, uma para o tipo de descontaminação, “type”, que neste caso apenas há a opção do peróxido de hidrogénio e por fim, uma coluna para armazenar a quantidade atomizada por cada ciclo de funcionamento, conforme Figura 52. Os três primeiros parâmetros da tabela foram definidos como VARCHAR e o último, que traduz pela quantidade de produto atomizado, foi estabelecido como sendo do tipo DECIMAL.

	description	time	type	qa
1	Esta zona iniciou a desinfecção.	8	H2O2	0.8
2	Esta zona iniciou a desinfecção.	1	H2O2	0.1
3	Descontaminação da zona foi interrompida.	0	H2O2	NULL

Figura 52. Tabela designada por "history".

Caso o usuário do programa inicie a descontaminação, aparecerá uma linha semelhante à indicada como número 1. Se, após uma linha de início de processo, aparecer uma linha em que o “description” seja de que a descontaminação foi interrompida (como são os casos das linhas 2 e 3) significa que o utilizador iniciou a descontaminação e teve de a interromper, por algum motivo.

A tabela de “temhum” armazena todos os valores lidos pelo sensor DHT11, possuindo assim duas colunas, uma para a temperatura e outra para a humidade, ambos definidos como VARCHAR. A leitura do sensor foi programada para ser feita de 20 em 20 segundos, de forma a garantir os parâmetros em tempo atual ao utilizador.

	temperature	humidity
1	10	10

Figura 53. Tabela designada por "temhum".

A base de dados é simples, porém armazena os dados pretendidos e essenciais para este equipamento. A comunicação do *Qt Creator* e o *SQLite Studio* é feito através de um ficheiro *header* (connection.h) que será explicado posteriormente.

- o connection.h

Este ficheiro permite a comunicação entre o programa de desenvolvimento do programa com a base de dados criada anteriormente. É através da inclusão da

biblioteca <QtSql> que é possível armazenar e aceder aos dados do ficheiro do *SQLite Studio*. No ficheiro `connection.h` é dada a informação da localização da pasta e do arquivo de dados e, quando necessário, o programa é executado através da função `.open()`. A Figura 54 trata-se da definição do ficheiro de conexão.

```
#ifndef CONNECTION_H
#define CONNECTION_H
#include <QtSql>
class connection{
public:
    QSqlDatabase database;
    QString local;
    QString data;
    connection(){
        local = "/home/pi";
        data = local + "/database/BiodefenderBasic_Login_pt-
en.db";
        database = QSqlDatabase::addDatabase("QSQLITE");
    }
    void close(){
        database.close();
    }
    bool open(){
        database.setDatabaseName(data);
        if(!database.open()){
            return false;
        }else{
            return true;
        }
    }
    bool isopen(){
        if(database.isOpen()){
            return true;
        }else{
            return false;
        }
    }
};
#endif // CONNECTION_H
```

Figura 54. Definição do ficheiro de conexão.

Assim, sempre que for necessária a comunicação com a base de dados, é indispensável estabelecer uma ligação com a mesma. Desta forma, é necessário incluir o seguinte código presente na Figura 55. A primeira linha do código verifica se a base de dados foi executada corretamente, caso não tenha sido, é apresentado ao utilizadores uma mensagem de erro. Caso se tenha dado a comunicação correta com a base de dados (quarta linha do código), é solicitado uma consulta das informações feita neste ficheiro de armazenamento (query).

```

...
if(!connection.open()){
    QMessageBox::warning(this,"Erro","Falha na comunicação com o
banco de dados.");
}else{
    QSqlQuery query;
    query.prepare("select * from temhum");
    query.exec();
    query.last();
    ui->T1->setText(query.value(0).toString() + " °C");
    ui->H1->setText(query.value(1).toString() + " %");
}
...

```

Figura 55. Indicação da conexão com a base de dados.

No caso deste exemplo em concreto apresentado no código acima, são selecionados todos os valores da tabela “temhum” através das funções `.prepare()` e `.exec()`. Dado o exemplo, são escolhidos os últimos dados da base de dados através da função `.last()`. Desta forma, consoante a Figura 42, são obtidos em forma de lista os valores [10,10], sendo que a primeira posição (`query.value(0)`) representa o valor da temperatura e a segunda posição (`query.value(1)`) o valor da humidade. Assim, são apresentados os parâmetros, nos elementos pré-definidos para tal (T1 e H1), os últimos valores guardados na base de dados.

Além de funções de seleccionar os dados (“select * from...”), para se realizar a comunicação ou alteração com a base de dados são utilizados também, funções de inserção de valores (“insert into ... values ...”) e de actualização de dados da tabela (“update temhum set ... where ...”).

Assim, é composto o protótipo do equipamento de descontaminação. Trata-se de uma máquina simples, com o principal foco na eficácia da desinfeção. Para tal, antes de se submeter o equipamento às entidades credenciadas de forma a serem postos os equipamentos à venda ao público, foram realizados diversos testes ao dispositivo para se perceber as condições ideais de funcionamento. De seguida, são apresentados os resultados dos testes realizados e principal utilidade dos mesmos.

3.3. Avaliação do protótipo

Como visto anteriormente, a criação e utilização de protótipos torna-se importante dentro de um ambiente de desenvolvimento, uma vez que fornecem respostas úteis,

em tempos úteis ao criador, assim como facilitam as modificações, caso necessário. A realização de testes a qualquer tipo de protótipo é uma tarefa de extrema importância, pois permite avaliar o sistema implementado, analisando a sua performance, a sua segurança e a interação do equipamento em fase final com o utilizador.

O principal teste executado nesta fase inicial é de performance técnica. Este tipo permite simular, em um ambiente controlado e monitorado, um determinado parâmetro ou requisito. Em relação ao protótipo desenvolvido, o equipamento de descontaminação, verificar a eficácia deste permite saber se a descontaminação foi total ou apenas parcial, garantindo ou não a eliminação de vírus e bactérias.

Para definição da concentração a ser utilizada e para a definição de temperatura e humidade ideais para a realização das desinfecções, foram realizados diversos testes alterando os parâmetros consoante necessidade. Sabe-se, em teoria, que quanto maior o valor da temperatura e menor o valor da humidade, melhor será a desinfecção. E quanto maior o valor da concentração, em grosso modo, maior será a eficácia deste processo. Por outro lado, é importante avaliar os danos causados devido a presença do peróxido de hidrogénio em todos os tipos de materiais que possam compor um ambiente de uma residência, por exemplo.

Para se pôr em prática a performance deste equipamento, primeiramente foi criado um ambiente onde fosse possível controlar parâmetros como a temperatura e a humidade do meio. Uma vez que uma névoa do composto H_2O_2 é prejudicial à saúde humana quando em elevadas concentrações construiu-se, na sede da empresa, um laboratório com aproximadamente $40m^2$, com uma parede de vidro para ser a visualização da propagação de névoa pelo ambiente, como mostra a Figura 56.



Figura 56. Laboratório construído na sede da empresa Biodefender.

Desta forma, tratando-se de um ambiente isolado, é possível a execução de testes garantindo a segurança de todos os trabalhadores da empresa. O primeiro teste realizado teve como objetivo principal perceber o comportamento do próprio equipamento de descontaminação e de todos os dispositivos que o constitui. Esse teste realizou-se três meses após início de desenvolvimento a obtenção do primeiro protótipo da máquina.

Os monitoramentos dos parâmetros necessários foram realizados através de uma sonda inserida no ambiente de descontaminação. Trata-se de uma sonda capaz de medir, de forma precisa, a humidade relativa do meio assim como os parâmetros de temperatura, concentração de peróxido de hidrogénio (em ppm) e o nível de saturação relativa. Este último parâmetro indica a quantidade de humidade no ar causada pelo peróxido de hidrogénio e pelo vapor de água e quando apresenta o valor de 100% significa que a mistura do ar começa a condensar.

- Teste 1

Neste teste, a principal análise a ser feita é o desempenho do equipamento de descontaminação consoante determinados parâmetros de temperatura, humidade e concentração. Para tal, o laboratório foi submetido a uma fonte de emissão de calor (ar condicionado) a uma temperatura constante de 30°C. A humidade relativa do meio não foi alterada, porém escolheu-se um dia para realização da experiência em este mesmo parâmetro estivesse naturalmente baixo.

A concentração escolhida para o primeiro teste foi elevada (50%), para assim ser possível perceber o comportamento da descontaminação e prever o desempenho do equipamento quando submetido a concentrações inferiores. Desta forma, foi realizado uma descontaminação com um ciclo de atomização de 15 minutos, a uma humidade relativa inicial de 20,4%. O ar condicionado esteve ligado, durante todo o ciclo, procurando manter a temperatura constante. Desta forma, registou-se os seguintes valores presente na Tabela 11.

Tabela 11. Resultados obtidos no primeiro teste de descontaminação

Teste 1 (H_2O_2 a 50%)				
Tempo [min]	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]	Saturação Relativa [%]	Concentração de H_2O_2 [ppm]
0	30,9	20,4	20,4	0
1	30,5	22,3	22,3	8
2	30,2	26,6	24,0	127
3	29,3	26,4	35,4	345
4	26,8	29,4	47,3	512
5	27,1	35,1	71,0	868
6	26,9	34,9	87,4	1007
7	26,9	35,7	94,6	1064
8	26,9	36,7	100,0	1150
9	26,8	38,1	100,1	1143
10	26,9	38,3	100,1	1152
11	27,1	38,7	100,1	1152
12	27,3	39,0	100,1	1158
13	27,4	39,5	100,1	1150
14	27,3	40,5	100,1	1151
15	27,4	40,7	100,1	1122

Através da Tabela 11, é possível observar que com menos de 5 minutos de descontaminação, a concentração de peróxido de hidrogénio no meio ambiente era de, aproximadamente, 860 ppm e ao fim de 8 minutos foi atingido os 100% de saturação relativa. Isto significa que a partir deste minuto, a probabilidade de haver

micro condensação é elevadíssima. Observa-se também um aumento gradativo da humidade relativa, assim como um declínio da temperatura.

Desta forma e tendo em conta que o único parâmetro modificado neste teste foi a temperatura, é possível estimar uma temperatura ideal para o processo de descontaminação. A Figura 57 apresenta um gráfico, de eixo duplo, em que relaciona a concentração de H_2O_2 (ppm) e a temperatura ($^{\circ}C$) em função do tempo de ciclo definido. Observa-se ainda que após 4 minutos de descontaminação, a temperatura manteve-se constante em, aproximadamente, $27^{\circ}C$.

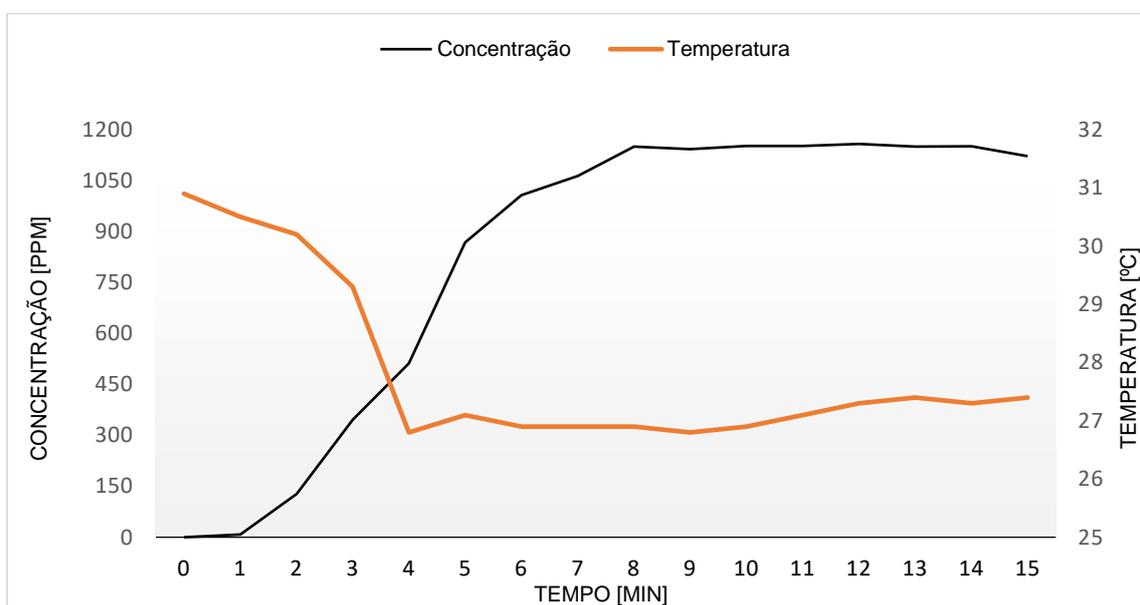


Figura 57. Teste 1 - Concentração e temperatura em função do tempo.

Para confirmar a tendência da temperatura para o valor mencionado anteriormente, foi realizado um segundo teste, com condições de temperatura e humidade relativa semelhantes ao primeiro teste.

- Teste 2

Neste teste, o principal objetivo é verificar a estabilidade da temperatura após poucos minutos de descontaminação em $27^{\circ}C$. Desta forma, o laboratório foi submetido, mais uma vez, a uma temperatura constante de $30^{\circ}C$ e a humidade relativa possuía o valor inicial de 15,3%. Para se poder comparar ao teste anterior, o peróxido de hidrogénio continha 50% de concentração e o ciclo definido foi de apenas 10 minutos. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Resultados obtidos no segundo teste de descontaminação

Teste 2 (H ₂ O ₂ a 50%)				
Tempo [min]	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]	Saturação Relativa [%]	Concentração de H ₂ O ₂ [ppm]
0	30,8	15,3	15,3	0
1	30,5	16,6	16,8	19
2	29,3	18,8	21,1	122
3	29,1	20,8	27,9	324
4	28,1	23,3	37,9	534
5	27,8	25,0	49,1	740
6	27,0	28,0	63,3	875
7	27,2	28,7	70,6	987
8	26,8	30,3	80,6	1051
9	26,7	31,8	88,1	1079
10	26,8	32,2	91,0	1104

Os resultados obtidos e apresentados na Tabela 12 demonstram, novamente, que após poucos minutos do processo de descontaminação a temperatura atingiu o esperado, os 27°C. A saturação relativa após término deste ciclo não atingiu o seu máximo, isto pode ser explicado uma vez a humidade relativa inicial era inferior ao valor registado no primeiro teste, ou seja, uma quando este parâmetro possui um valor relativamente baixo significa que o ambiente possui mais “espaço” livre para moléculas de peróxido de hidrogénio. É notório ainda que ao fim de 10 minutos de desinfeção, a sonda da VAISALA detetou um valor de 1104 ppm, menos 48 ppm do que o detetado no primeiro teste. A Figura 58 apresenta as curvas da concentração e temperatura em função do tempo de ciclo definido.

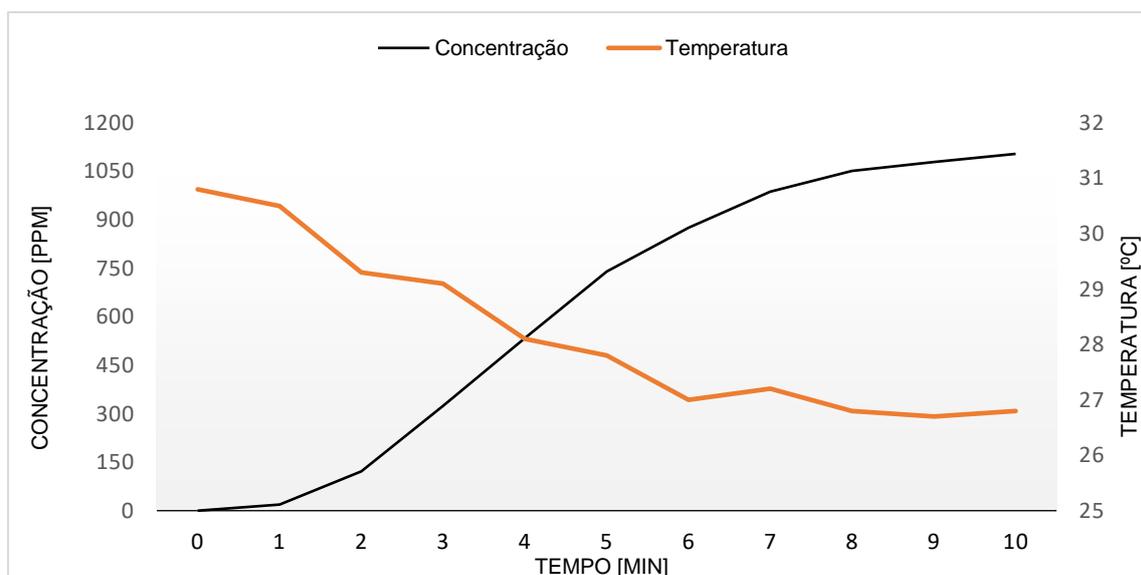


Figura 58. Teste 2 - Concentração e temperatura em função do tempo.

Através destas duas experiências realizadas, é possível definir que a temperatura necessária para a desinfecção ronda os 30°C. Ainda é notório que para estes valores de temperatura, uma humidade relativa inicialmente abaixo dos 20% e utilizando peróxido de hidrogénio a uma concentração de 50% é esperado se obter, ao fim de 10 minutos, valores próximos de 1100 ppm no meio envolvente.

Porém, para verificar a real influência da humidade relativa, foi realizado um terceiro teste e, desta vez, o valor inicialmente para este parâmetro no qual o laboratório foi submetido foi de 34,1%.

- Teste 3

Teoricamente, quanto maior o valor da humidade relativa do ambiente a ser descontaminado, menor será a eficácia de descontaminação. Isto deve-se ao facto deste mesmo ambiente já está carregado de moléculas de água em estado gasoso, sobrando assim menos “espaço” para as moléculas de peróxido de hidrogénio.

O teste número três serve, justamente, para confirmar essa teoria. Desta vez, o laboratório de testes foi submetido a uma temperatura de 30°C e a uma humidade relativa de 34,1%. O procedimento foi realizado com peróxido de hidrogénio a 50% e o ciclo demorou 15 minutos. Os resultados obtidos estão presentes na Tabela 13.

Tabela 13. Resultados obtidos no terceiro teste de descontaminação

Teste 3 (H ₂ O ₂ a 50%)				
Tempo [min]	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]	Saturação Relativa [%]	Concentração de H ₂ O ₂ [ppm]
0	31,3	34,1	34,1	0
1	30,8	36,1	36,8	20
2	30,1	37,8	43,1	136
3	29,4	40,2	51,1	266
4	28,9	42,0	59,9	379
5	28,8	42,8	65,6	486
6	29,1	42,3	67,4	537
7	28,5	44,4	74,7	597
8	28,6	44,6	78,7	663
9	28,3	46,0	85,1	706
10	28,6	45,6	86,0	744
11	28,9	45,0	85,1	769
12	28,8	45,6	88,1	788
13	28,7	46,2	89,4	786
14	28,9	45,8	88,0	793
15	29,0	45,8	88,7	802

Assim, para comprovar a influência da temperatura no processo de descontaminação, foi realizado mais dois testes, utilizando a mesma concentração de produto químico (peróxido de hidrogénio a 50%), porém com temperaturas mais baixas. Espera-se que com esta condição o nível de ppm não seja tão elevado quanto nos testes anteriores, uma vez que foi visto que a temperatura aumenta a energia cinética dos átomos, fazendo com que estes se dispersem mais rapidamente.

- Teste 4

Nesta etapa dos testes de funcionamento do equipamento de descontaminação, foi novamente posto em causa a veracidade da influência da temperatura e humidade durante o processo. Deste modo, alterou-se os valores iniciais destes parâmetros (temperatura 22°C e humidade relativa 36,7%) e analisou-se os valores medidos.

Neste teste, o peróxido de hidrogénio manteve-se a uma concentração de 50% e a duração do ciclo foi de 15 minutos. A Tabela 14 apresenta os resultados medidos no fim deste ciclo.

Tabela 14. Resultados obtidos no quarto teste de descontaminação

Teste 4 (H_2O_2 a 50%)				
Tempo [min]	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]	Saturação Relativa [%]	Concentração de H_2O_2 [ppm]
0	21,9	36,7	36,7	0
1	21,4	38,1	38,1	0
2	20,8	43,7	51,3	100
3	21,4	43,2	65,4	270
4	21,7	43,5	78,3	413
5	22,3	43,3	89,5	543
6	23,1	42,5	92,7	620
7	23,1	43,0	95,5	647
8	23,5	42,9	96,6	677
9	23,7	43,2	99,4	708
10	24,1	42,8	99,0	733
11	24,3	43,0	99,2	745
12	24,5	43,4	99,7	758
13	24,8	43,4	99,5	767
14	24,7	44,2	99,9	771
15	24,9	44,3	99,8	776

Como esperado, o valor da concentração de vapor do produto químico não atingiu o valor obtido nos testes anteriores. Ao fim dos 15 minutos deste ciclo, o valor máximo medido foi de 776 ppm enquanto em testes anteriores rondavam os 1200 ppm. Este

acontecimento deve-se ao facto de se ter alterado os valores iniciais da humidade relativa (mais alto) e da temperatura (mais baixo).

Segundo as informações obtidas na Tabela 14, durante todo este processo de desinfecção a temperatura teve tendência a subir, pelo menos 2 graus e a saturação relativa atingiu o equivalente ao seu máximo após 9 minutos de ciclo. A Figura 59 demonstra a evolução do nível de concentração de peróxido de hidrogénio e o valor da saturação relativa ao longo do tempo de ciclo.

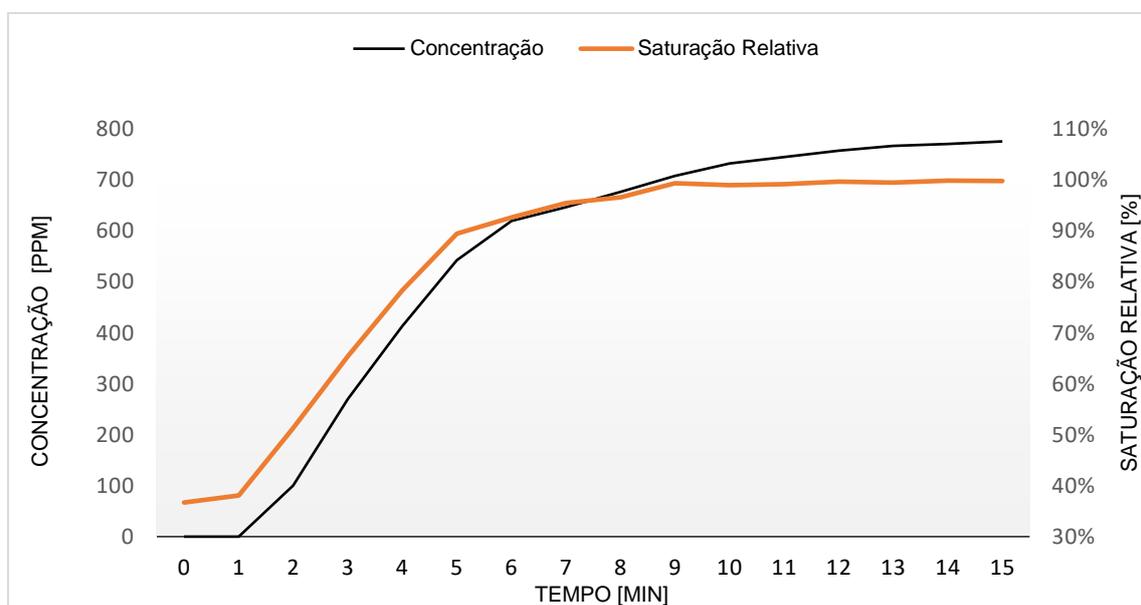


Figura 59. Teste 4 - Concentração e saturação relativa ao longo do tempo.

Observa-se que o gráfico apresenta curvas semelhantes. Este comportamento é esperado uma vez que a saturação relativa aumenta consoante a quantidade de névoa que é inserido no meio. Neste caso, esta quantidade refere-se aos átomos do produto químico que se dispersam no ambiente e deste modo quanto maior for o nível da concentração (ppm), maior será o valor obtido da saturação relativa.

- Teste 5

De forma a confirmar a influência dos parâmetros associados à realização do teste 4, foi realizado um segundo teste com temperatura baixa e humidade relativa parcialmente alta. Durante este teste, escolheu-se uma temperatura a volta dos 16°C, uma humidade relativa perto dos 36% e a concentração do peróxido de hidrogénio manteve-se inalterada, 50%.

A partir destas condições ambientais, foi realizado uma nova atomização com um ciclo de 10 minutos. Os resultados obtidos comprovam a veracidade da teórica apresentada anteriormente de que alta temperatura e um baixo valor para a humidade relativa facilitam o processo de desinfeção. A Tabela 15 apresenta os valores medidos neste quinto teste de descontaminação.

Tabela 15. Resultados obtidos no quinto teste de descontaminação

Teste 5 (H ₂ O ₂ a 50%)				
Tempo [min]	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]	Saturação Relativa [%]	Concentração de H ₂ O ₂ [ppm]
0	16,4	36,1	36,1	0
1	16,0	37,5	37,8	3
2	15,5	39,6	40,5	6
3	14,7	45,5	56,9	77
4	14,2	48,1	74,8	164
5	13,9	49,6	92,3	239
6	13,7	50,8	99,9	270
7	13,6	52,3	100,2	287
8	13,6	52,8	100,2	291
9	13,6	53,6	100,2	289
10	13,6	53,8	100,2	287

Os valores obtidos para a concentração de H₂O₂ em nada se assemelham aos valores registados anteriormente. O valor mais alto para este parâmetro foi de 291 ppm, menos 867 ppm em comparação ao valor mais alto registado do teste 1. Desta forma é possível afirmar, com toda a certeza, que os parâmetros de temperatura e humidade influenciam, e muito, no resultado da descontaminação.

Para compreender a tendência do equipamento de descontaminação, após os testes realizados, é realizado uma comparação entre os resultados obtidos em todos os testes. Assim, é possível observar os comportamentos das curvas e obter uma previsão do processo de desinfeção.

- Temperatura

Como visto anteriormente, os melhores resultados obtidos foi quando a temperatura do meio envolvente era particularmente alta (30°C). O seu comportamento, nestes casos, foi observado uma ligeira descida no seu valor, atingindo um dígito quase constante de 27°C. Analogamente, quando o local a ser descontaminado possuía um valor mais baixo para este mesmo parâmetro (teste 5), observou-se novamente uma variação de 3°C entre o seu valor inicial e final. O único teste que não responde nesse

sentido é o teste 4, que apresenta uma variação positiva de aproximadamente 2°C (Figura 60).

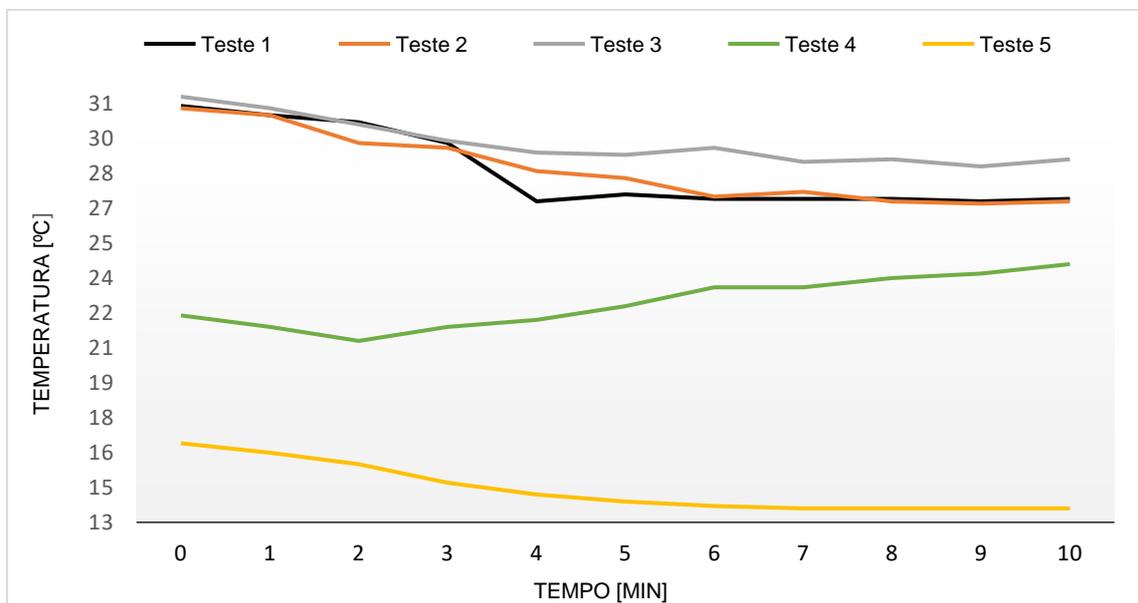


Figura 60. Comparação da variação de temperatura ao longo do tempo em todos os testes realizados.

Através da informação retirada dos resultados obtidos a partir dos testes realizados, a empresa Biodefender está, atualmente, a desenvolver um módulo de um equipamento de aquecimento para trabalhar em conjunto com a máquina de desinfecção. Este módulo servirá para efetuar o aquecimento do local, facilitando e ajudando na desinfecção do ambiente. A empresa ainda cogita desenvolver um equipamento de descontaminação que já possua, no seu interior, um módulo de aquecimento de forma a evitar o fabrico de duas máquinas independentes.

- Humidade relativa e saturação relativa

Como era previsto e através dos resultados registados e analisados, quanto menor a humidade relativa do meio, melhor será os dados observados durante a descontaminação. Meios que possuem um valor relativamente baixo para o parâmetro citado, demonstraram uma maior eficácia no processo de descontaminação.

Foi possível observar um comportamento semelhante em quase todos os testes realizados (exceto teste 4) com uma variação positiva de, aproximadamente, 20% do valor inicial registado para a humidade relativa. A Figura 61 relaciona os valores observados, em todos os testes realizados, em função do tempo.

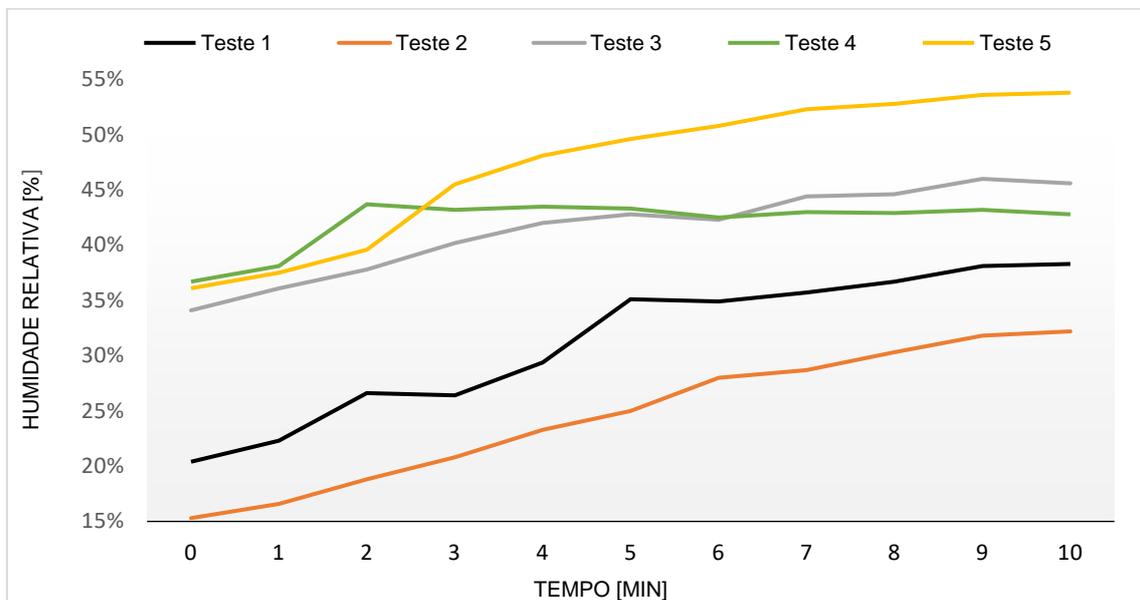


Figura 61. Comparação da variação da humidade relativa ao longo do tempo em todos os testes realizados.

Em relação a saturação relativa, esta inicialmente assume o valor da humidade relativa uma vez que no local da descontaminação apenas possui moléculas de água no estado gasosa. Após o início do processo de desinfecção, observa-se que quando maior for o valor inicial, mais rápido é atingida a saturação máxima (teste 4 e 5).

Esta tese deve-se ao facto do local, já possuir no seu espaço, muitas moléculas de água, sobrando assim pouco espaço para ser preenchido pelo peróxido de hidrogénio. Para um maior valor inicial de saturação relativa (equivalente ao valor da humidade relativa) observou-se, através da investigação visual do laboratório, que rapidamente o ambiente ficou coberto de micromoléculas de água no estado líquido.

A micro condensação do ar do ambiente a ser descontaminado deve ser evitada, em virtude desse mesmo local poder possuir equipamentos eletrónicos, ou até mesmo móveis, que se podem danificar aquando do contacto com água no estado líquido. Também se é observado que, com a concentração de 50% de peróxido de hidrogénio, ao fim dos 10 minutos de ciclo, todos os testes realizados atingiram o seu valor máximo de 100%. A Figura 62 apresenta todos os resultados registados para todas as experiências executadas. É visível que os comportamentos de todas as curvas são semelhantes qualquer que seja as condições iniciais de temperatura e humidade relativa do meio a ser descontaminado.

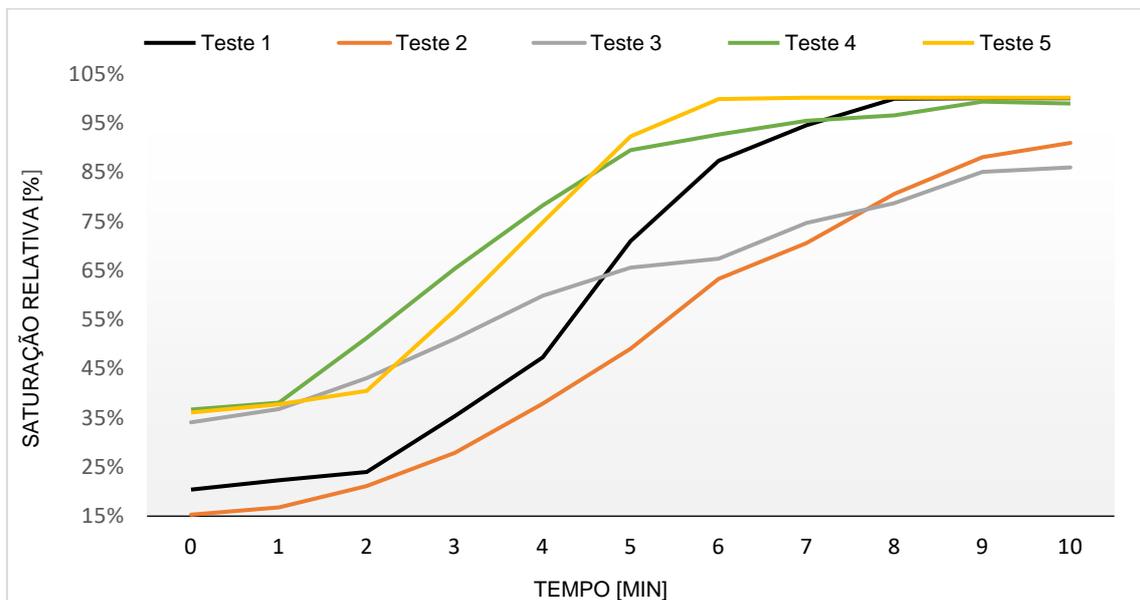


Figura 62. Comparação da variação da saturação relativa ao longo do tempo em todos os testes realizados.

Desta forma e para garantir a eficácia da descontaminação, a Biodefender pretende desenvolver um protótipo do mesmo equipamento título deste trabalho de projeto, porém que possua, no seu interior, um sistema de desumidificação. Assim, o futuro do equipamento “*Supreme*” terá duas funções específicas: aquecimento e desumidificação simultânea do meio envolvente e posterior atomização do produto químico. Desta maneira, será possível submeter o ambiente a condições designadas ideais, facilitando e garantir a eficácia da desinfecção.

- Concentração de H_2O_2

A concentração de peróxido de hidrogénio no ambiente é um parâmetro extremamente importante a ser analisado. É através dele que se pode concluir se o local foi ou não totalmente desinfetado. Trata-se de uma variável que aumenta com o tempo de ciclo e que atinge rapidamente os seus valores máximos quando realizados testes com valores de temperatura e humidade ideal. Este parâmetro estabiliza-se quando o valor da saturação relativa atinge o extremo, uma vez que o meio envolvente já possui o seu volume “cheio”, ou seja, pode-se dizer que o volume do ambiente está completamente coberto de moléculas no estado gasoso.

De seguida, a Figura 63 apresenta a evolução da concentração de produto químico em todos os testes ao longo do tempo definido (10 minutos).

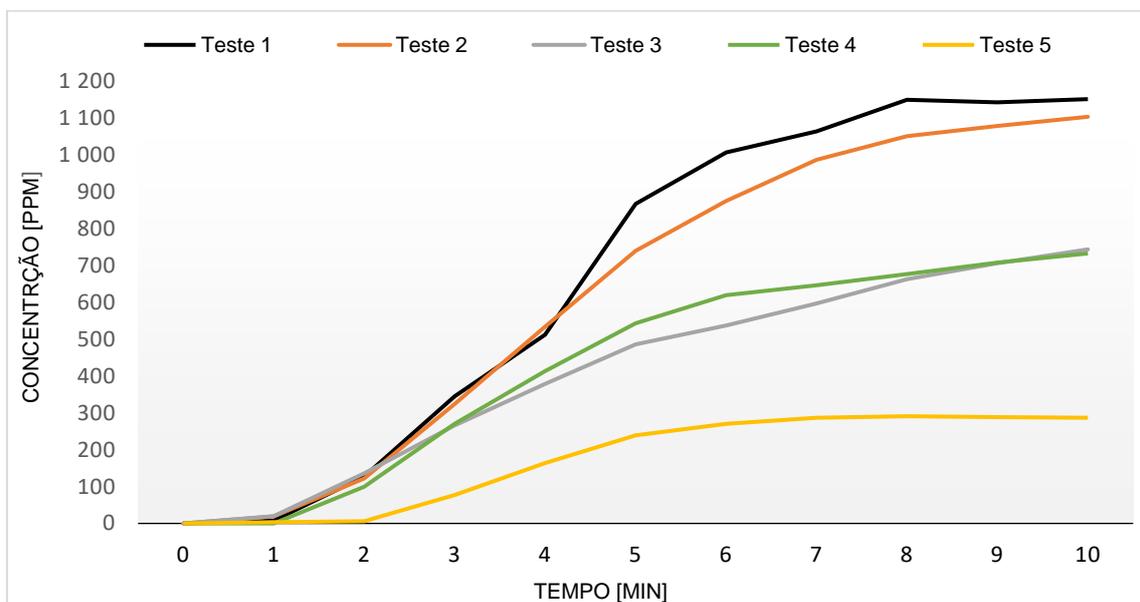


Figura 63. Evolução do valor da concentração dos testes realizados ao longo do tempo.

Neste ponto, sabe-se idealmente o valor da temperatura necessária para se obter uma melhor descontaminação, assim como quanto menor o valor da humidade, mais eficaz será o processo de desinfecção. Porém, o que ainda não foi analisado foi o efeito da concentração do produto químico a utilizar no equipamento e desta forma, foram realizados mais dois testes extras, um com uma concentração de 25% e outro com uma concentração de 35%.

- Teste 6

Neste teste, optou-se por dispor o ambiente na temperatura mais alta atingida pelo ar condicionado (34°C) e a uma humidade relativa baixa, de aproximadamente, 20%. Desta vez, foi utilizado peróxido de hidrogénio a uma concentração de 25%. Este teste servirá para perceber a evolução da concentração em ppm do meio envolvente, porém sabe-se que o que se espera obter não são valores muito altos, como os obtidos nos testes anteriores, uma vez que a concentração do produto químico foi reduzida a metade. Teoricamente, um processo de descontaminação por H_2O_2 levará muito mais tempo para chegar a um nível alto (de concentração em ppm) do que uma descontaminação executada com peróxido de hidrogénio a 50%.

A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos durante a realização do processo por 15 minutos.

Tabela 16. Resultados obtidos no sexto teste de descontaminação

Teste 6 (H ₂ O ₂ a 25%)				
Tempo [min]	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]	Saturação Relativa [%]	Concentração de H ₂ O ₂ [ppm]
0	33,6	21,2	21,2	0
1	33,1	23,0	23,1	5
2	32,8	26,3	27,1	33
3	31,8	29,2	31,0	75
4	31,1	32,8	36,1	118
5	30,9	34,5	39,3	50
6	30,5	36,5	42,5	178
7	30,4	38,5	45,9	204
8	30,4	40,0	48,9	234
9	30,4	41,4	51,6	257
10	30,1	43,5	55,6	281
11	30,2	44,8	58,3	305
12	30,0	46,3	31,1	324
13	30,1	47,9	63,7	342
14	30,2	48,4	65,4	356
15	30,0	50,2	68,0	365

Segundo a Tabela 16 e como era esperado, a temperatura teve uma variação de aproximadamente 3°C, o que é linear quando comparado aos testes anteriores. A humidade relativa também se comportou como o esperado, havendo um aumento de aproximadamente 29% no seu valor inicial. Quando analisado as colunas de saturação relativa e concentração em ppm, o cenário torna-se totalmente novo.

Ao fim dos 15 minutos de descontaminação, observou-se um valor máximo de concentração de peróxido de hidrogénio de 365 ppm e apenas 68% de saturação relativa. Estes valores representam que ainda poderiam ser adicionados ao meio envolvente mais moléculas de produto químico, e desta forma, poderia se obter um maior valor representativo da última coluna. Como esperado, a desinfeção com uma concentração do produto químico inferior, faz corresponder a um maior tempo necessário para desinfeção, de forma a se obter um maior valor de concentração no meio envolvente.

A Figura 64 apresenta a concentração de peróxido de hidrogénio ao longo do tempo. É apresentado ainda uma função, polinomial de grau 2, que mais se espelha a curva traçada, em que y representa o valor da concentração, em ppm, e x traduz-se pelo tempo em segundos.

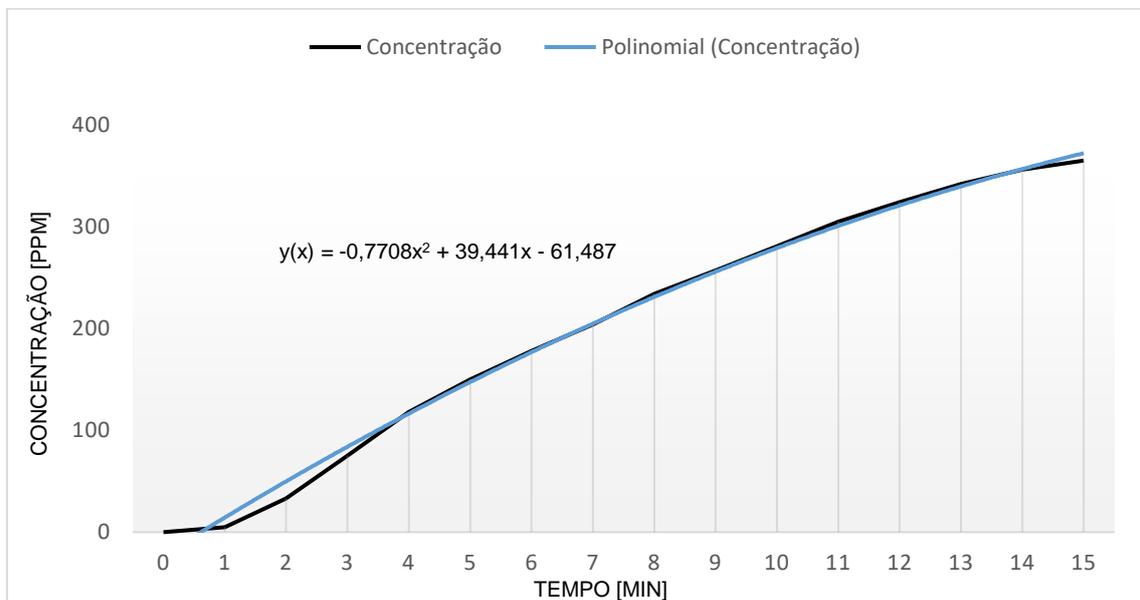


Figura 64. Teste 6 - Resultados obtidos da concentração e a sua linha de tendência ao longo do tempo.

Através da equação da linha de tendência demonstrada anteriormente na Figura 65, é possível calcular o valor máximo esperado para a concentração no meio ambiente. Derivando a equação acima em ordem à x , $(\frac{dy}{dx})$, obtém-se o seguinte:

$$y'(x) = -1,54x + 39,44 \quad (8)$$

Sabendo que um ponto de inflexão, ou máximo, de uma curva corresponde ao valor da sua derivada quando esta assume o valor zero ($y'(x) = 0$), é possível prever o tempo necessário para se atingir a maior concentração deste processo, ou seja:

$$-1,54x + 39,44 = 0 \quad (9)$$

$$x = 25,61 \text{ min} \quad (10)$$

Desta forma, é possível pressupor o máximo de concentração esperada neste processo, que ocorrerá ao fim de, aproximadamente, 26 minutos de descontaminação. Assim, segundo equação 11, o valor máximo esperado é de 443,55 ppm.

Comparado ao valor obtido nos testes quando utilizado concentração de 50% e com condições ambientais ideais (teste 2), o valor máximo esperado para esta experiência não atinge nem a metade do valor obtido anteriormente.

- Teste 7

Este último teste foi realizado também em condições ideais de humidade relativa e temperatura, porém foi atomizado uma solução líquida de peróxido de hidrogénio a 35% de concentração. O processo teve a duração de 15 minutos e os resultados obtidos estão presentes na Tabela 17.

Tabela 17. Resultados obtidos no sétimo teste de descontaminação

Teste 7 (H ₂ O ₂ a 35%)				
Tempo [min]	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]	Saturação Relativa [%]	Concentração de H ₂ O ₂ [ppm]
0	33,4	20,9	20,9	0
1	33,0	22,7	23,2	26
2	32,2	24,8	27,5	130
3	31,6	26,5	32,2	246
4	31,1	26,7	38,8	384
5	30,7	30,1	43,8	490
6	30,3	31,9	50,4	579
7	30,1	33,3	55,9	671
8	30,1	34,1	60,4	742
9	30,0	35,0	64,2	798
10	29,9	36,2	69,9	857
11	29,7	37,5	75,7	909
12	29,7	38,1	79,1	956
13	29,7	38,6	82,7	994
14	29,5	39,5	86,1	1007
15	29,6	39,6	87,7	1034

O teste 7 obteve melhores resultados do que a experiência realizada anteriormente, uma vez que possui uma concentração maior de peróxido de hidrogénio na substância química e desta vez este ensaio atingiu valores próximos ao apresentado quando atomizado uma solução de 50%. Pode-se dizer que o resultado obtido com 35% é equivalente ao resultado obtido com 50%, porém, é necessária uma maior duração no tempo de ciclo de desinfeção.

Analogamente, a temperatura sofreu uma descida de cerca de 4°C, assim como a humidade relativa aumentou o seu valor, quase, em 19%. A saturação relativa não chegou a seu valor máximo, porém tendo em conta que a partir dos 75% o aumento da concentração não foi muito relativo, estima-se que a concentração assumiria um valor próximo ao registado, cerca de 1000 ppm.

A Figura 65 apresenta uma comparação entre as concentrações, em ppm, medidas nos três seguintes testes: 2, 6 e 7.

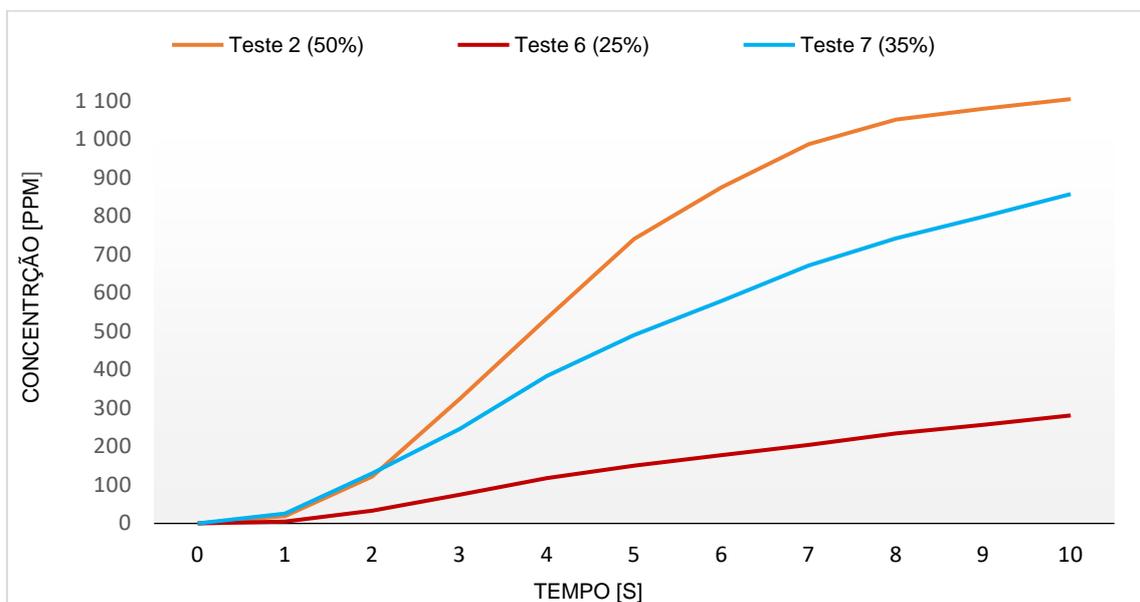


Figura 65. Análise comparativa das concentrações em função do tempo nos testes 2, 6 e 7.

Para se perceber e definir o valor mínimo necessário para ser efetuado uma descontaminação, é indispensável a realização de testes com agentes patogénicos, a fim de identificar a eficiência do equipamento. Para tal, em parceria com o Laboratório de Defesa Biológica (LDB), foram obtidos indicadores químicos e biológicos nos quais foram inseridos na sala de descontaminação antes dos três testes supracitados (teste 2, 6 e 7).

Os indicadores químicos permitem afirmar que a névoa de peróxido de hidrogénio atingiu todos os pontos mais extremos do laboratório de descontaminação. Assim, fixou-se as tiras indicadoras nos locais mais longínquo do aparelho antes do início do processo de desinfeção e verificou-se a reação química dos indicadores, mudando de cor, conforme Figura 66, apresentada abaixo.

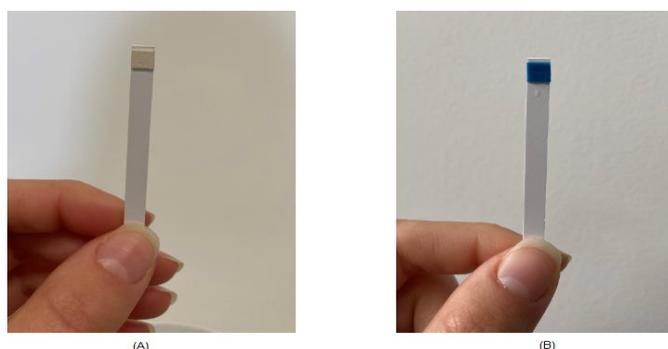


Figura 66. Indicadores químicos. A - antes do processo de descontaminação. B - após desinfeção.

Através da mudança de coloração das tiras dos indicadores químicos é possível afirmar que a névoa dispersada no ambiente atingiu todos os extremos, desta forma é esperado que o equipamento seja capaz de desinfetar todas as superfícies de um espaço. Porém, será esta descontaminação eficaz?

Para responder à pergunta supracitada, o LDB realizou testes no laboratório da Biodefender com indicadores biológicos nos mesmos testes referidos anteriormente (2, 6 e 7). A análise destes indicadores envolve em submeter um número conhecido de microrganismos específicos e sujeitá-lo ao processo de descontaminação. No fim do ciclo, os organismos são removidos, cultivados e posteriormente analisados. Se não houver nenhum crescimento do fungo/bactéria/vírus na cultura analisada, presume-se então que o espaço foi totalmente esterilizado. Desta forma, o Laboratório de Defesa Biológica procedeu a fixação de cinco indicadores biológicos contendo uma cultura de *Bacillus Atrophaeus* espalhados pelo laboratório, conforme Figura 67.



Figura 67. Indicador biológico fornecido pelo LDB.

Trata-se de um esporo bacteriano resistente, frequentemente utilizado em experiências de desinfecção e esterilização. Uma vez que representa um organismo muito resistente, se o processo de descontaminação for eficaz contra esses esporos, pode-se presumir que o processo é eficaz contra qualquer outro organismo menos resistente.

O laboratório comandado pelo exército procedeu a análise das amostras de cada teste realizado. O resultado foi bastante positivo para os testes com peróxido de hidrogénio

a 50% e a 35%, com uma redução *Log Kill* nível 6, ou seja, uma eficácia de 99,9999%. Em contrapartida, o teste designado como 6 obteve uma redução ligeiramente inferior, atingindo uma eficácia de 99,99% (*Log Kill* 4). Neste teste, pode-se dizer que a colónia inserida inicialmente (contendo um milhão de agentes patogénicos), foi reduzida para 100 bactérias. Este valor é relativamente alto, uma vez que a reprodução das mesmas pode ser momentânea.

A Biodefender optou por escolher a solução química que apresentasse menor risco à saúde humana, mas que ao mesmo tempo fornecesse uma descontaminação rápida e eficaz. Testes com peróxido de hidrogénio a 50% apresentaram uma eficácia de descontaminação com um menor curto espaço de tempo, porém danificaram todos e quaisquer tipo de aço que não fosse inoxidável, como mostra a Figura 68.



Figura 68. Ação do peróxido de hidrogénio no aço. A - Solução à 50%. B - Solução à 35%.

Desta forma, a opção mais viável para realização da atomização é com a utilização de peróxido de hidrogénio à 35%. A empresa continua a investir em testes de funcionamento, segurança e eficácia.

O próximo passo considerável e indispensável a ter em conta é a certificação do equipamento de descontaminação. O Laboratório de Defesa Biológica ofereceu-se para testar a máquina nos seus laboratórios, assim como foi solicitado aprovação técnica pelo laboratório do ISQ. Desta forma, espera-se que a venda do dispositivo seja possível ainda neste ano que vigora.

Capítulo 4. Conclusões

Uma linha de produção requer um aumento significativo do número de empregados. Atualmente, a Biodefender conta com uma equipa de 6 pessoas, sendo cinco delas engenheiros e um fundador. Uma vez que a pandemia causada pelo surto do SARS-CoV-2, após mais de um ano do seu início, continua a causar inúmeros contágios e, conseqüentemente, mortes em todo o mundo, estima-se, que após aprovação do equipamento para a comercialização, o número de solicitações para aquisição do dispositivo de descontaminação seja elevado.

O desenvolvimento e a implementação de um equipamento de descontaminação de superfícies, especificamente elaborado para a empresa em estudo, foi a proposta executada. Deste modo, o equipamento desenvolvida foi dimensionado de modo a ser simples, eficiente, cujo custo de produção fosse reduzido. Assim, parte dos problemas causados pela propagação de doenças infecciosas poderão ser evitados, uma vez que os dispositivos desenvolvidos podem ser acessíveis a qualquer um, promovendo a descontaminação local e ambiental, principalmente de espaços cujo afluência do número de pessoas é maior.

Foram desenvolvidos, inicialmente, cinco protótipos do equipamento final *Supreme* que ainda estão em fase de testes e certificação. Testes de análise de parâmetros, como a temperatura e a humidade relativa, são frequentemente realizados, assim como a alteração de concentração do produto químico. A empresa pretende obter um equipamento de descontaminação que seja o mais seguro para os seus utilizadores e deste modo, ainda é analisado a possibilidade de realizar a descontaminação a partir de peróxido de hidrogénio com uma concentração inferior à prevista (35%). Da mesma forma, a Biodefender pretende desenvolver um sistema capaz de acionar o equipamento a longa distância, evitando que o utilizador esteja no mesmo ambiente do equipamento.

Uma empresa *start-up*, como no caso da Biodefender, depende de todos os recursos possíveis para conseguir se integrar no mercado de vendas. Obter um equipamento eficiente a um preço reduzido, pode ser essencial para o seu crescimento. Os dispositivos eletrónicos escolhidos, que permitem o funcionamento do equipamento, tratam-se todos de equipamentos simples e com um baixo custo. Um microcontrolador, do mesmo modelo utilizado neste trabalho de projeto por exemplo,

possui um valor de cerca de sessenta euros e através da sua programação, é possível obter um equipamento autónoma, capaz de ligar ou desligar quando necessário.

O gasto mais dispendioso deste projeto é, sem dúvida, a fabricação da caixa metálica da máquina de descontaminação. Uma vez que o peróxido de hidrogénio é corrosivo, todo o material que estará em contato com este produto químico, deverá ser de aço inoxidável, assim como devem possuir tratamento anti corrosão. De forma a acelerar o processo de execução de testes e de certificações, foi subcontratada uma empresa para realizar este processo e todos os protótipos deste equipamento. A partir da subcontratação desta empresa é possível prever e calcular o custo necessário para construir, na própria sede da empresa Biodefender, uma linha de produção em série de equipamentos de descontaminação. Este gasto só é justificável caso o projeto avance e a procura desses equipamentos seja elevada.

O principal objetivo da empresa era desenvolver um equipamento eficiente para atender a necessidade de desinfeção de superfícies de ambientes predispostos a propagação de vírus e bactérias. Este objetivo foi alcançado através da fabricação de protótipos e pelo resultado positivo dos testes realizado pelo Laboratório da Defesa Biológica. Neste momento, e a pensar em futuro, o próximo caminho a seguir é a venda, ou aluguer, de equipamento para a descontaminação, quer de habitações pessoais quer de lugares públicos.

Após o surto do SARS-CoV-2, o ramo da bio descontaminação tem sido cada vez mais abordado e estudado. Um novo vírus com alta taxa de transmissibilidade, como o caso do *coronavírus*, pode surgir a qualquer momento. De modo a evitar maior perda de vidas futuras, os equipamentos de descontaminações vieram para ficar e dessa forma, a resposta a uma possível futura pandemia deverá ser momentânea. A pensar nos processos existentes para se efetuar uma desinfeção, a Biodefender está também a desenvolver uma máquina designada por *Supreme 2.0*.

Este máquina trata-se de uma evolução do dispositivo digno deste trabalho de projeto, porém o equipamento *Supreme 2.0* possui, no seu interior, dois processos distintos de desinfeção. O primeiro, o convencional e explicado ao longo deste projeto, é o processo de desinfeção através da atomização do peróxido de hidrogénio, tal e qual o equipamento *Supreme*. O segundo é a descontaminação através da geração de gás ozono. Desta forma, o *Supreme 2.0* possui uma outra caixa estanque, que acomoda

todos os equipamentos necessários para a geração de ozono, como desenvolvido e explicado no equipamento *Wall*. Assim, o utilizador poderá escolher que tipo de desinfeção pretende executar, se com H_2O_2 , se com O_3 ou se com ambos tipos.

São inúmeras as ideias que esta empresa apresenta, cada uma direcionada a determinado problema da atualidade. A ideia do desenvolvimento e implementação de um equipamento de descontaminação de superfícies por peróxido de hidrogénio foi o projeto que abriu as portas para a Biodefender ser, futuramente, um grande nome no ramo da bio descontaminação em Portugal e no mundo.

Bibliografia

- Araújo, L. (2020). *Átomo: o que é, estrutura, modelos atômicos - Manual da Química*. Obtido de Manual da Química: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/atomo.htm>
- Astro Pak Corporation. (2012). *The Advantages of Ionized Hydrogen Peroxide (iHP®) compared to Vaporized Hydrogen Peroxide (VHP®)*. Obtido de labrepc: https://www.labrepc.com/wp-content/uploads/2018/09/Ionized_Hydrogen_Peroxide__iHP____vs._Vaporized_Hydrogen_Peroxide__VHP____1427129030.pdf
- Batista, C. (2021). *Tabela Periódica Completa e Atualizada 2021 - Toda Matéria*. Obtido de TodaMatéria: <https://www.todamateria.com.br/tabela-periodica/>
- Batista, N.C., Melicio, R., Mendes, V.M.F. Layered smart grid architecture approach and field tests by ZigBee technology, *Energy Conversion and Management*, Vol. 88, pp. 49-59, December 2014.
- Batista, N.C., Melicio, R., Mendes, V.M.F. Services enabler architecture for smart grid and smart living services providers under industry 4.0, *Energy and Buildings*, Vol. 141, pp. 16-27, April 2017.
- Bioquell. (2020). *Bioquell Hydrogen Peroxide Vapour Decontamination*. Obtido em 30 de 01 de 2021, de Bioquell: <https://www.bioquell.com>
- Caforre. (2021). *Shenzhen Caforre Technology Co., Ltd*. Obtido de caforre: <http://www.caforre.com/en/product/132.html>
- Chatelier, L. (1888).
- Conceição, C., Lopes, D., Ramos, J., Cristóvão, J., Vieira, M., Pingarilho, M., . . . Parreira, R. (27 de 03 de 2020). *COVID-19: Água oxigenada para desinfecção de superfícies de uso comum - Faça você mesmo*. Obtido de Universidade Nova de Lisboa - Instituto de Higiene e Medicina Tropical: <https://www.ihmt.unl.pt/covid-19-agua-oxigenada-para-desinfeccao-de-superficies-de-uso-comum-faca-voce-mesmo/>
- Costa, V. (07 de 2008). *Ligas Metálicas: Estrutura, Propriedades e Conservação de Objectos Culturais*. Pelotas: Editora da UFPel.

- CSM. (2015). *Indicadores biológicos e químicos no monitoramento da esterilização*. Obtido de csmcientifica: <https://csmcientifica.com.br/indicadores-biologicos-e-quimicos-no-monitoramento-da-esterilizacao/>
- Cunha, J., Batista, N.C., Carneira, C., Melicio, R. Upgrading a legacy manufacturing cell to IoT, *Journal of Sensor and Actuator Networks*, Vol. 10(4), 65, pp. 1-18, 12 November 2021.
- Draeger. (2020). *Fachartikel_VHP_EN_151104-PT-BR_LR_Crop*. Obtido de Draeger: <https://www.draeger.com/library/content/vaporized-hydrogen-peroxide-cs-9100996-pt.pdf>
- Elias, M., Nora, L., Nora, F., Ribeiro, J., Ferreira, C., & Cañizares, L. (2019). *Reações Endotérmicas e Exotérmicas*. Obtido em 16 de 01 de 2021, de Universidade Federal de Pelotas: <http://labgraos.com.br/manager/uploads/arquivo/reacoes-exotermicas-e-endotermicas.pdf>
- Ferreira, V. (2019). *Peróxido de hidrogênio - Química - InfoEscola*. Obtido em 30 de 01 de 2021, de InfoEscola: <https://www.infoescola.com/>
- Fogaça, J. (2018). *Variáveis de estado dos gases. Variáveis de estado de um gás*. Obtido em 15 de 01 de 2021, de Manual da Química: <https://www.manualdaquimica.com/>
- Johns Hopkins. (22 de 01 de 2020). *COVID-19 Map - Johns Hopkins Coronavirus Resource Center*. Obtido em 04 de 11 de 2020, de Johns Hopkins University & Medicine: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
- Johnson Matthey. (2021). *Johnson Piezo*. Obtido de Piezo Products: <https://www.piezoproducts.com/pt/products-solutions/ultrasonic-atomizers/>
- Mattos, I., Shiraish, K., Braz, A., & Fernandes, J. (26 de 05 de 2003). *Peróxido de hidrogênio: importância e determinação. Hydrogen peroxide: importance and determination*. Obtido em 30 de 01 de 2021, de <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000300015>
- Merselli, I. (01 de 04 de 2020). *Quanto tempo o coronavírus sobrevive em cada superfície?* Obtido em 11 de 11 de 2020, de sanarmed: <https://www.sanarmed.com>

- Miranda, A. (2019). *Como são classificados os indicadores químicos?* Obtido de Nasce|CME: <http://nascecme.com.br/como-sao-classificados-os-indicadores-quimicos/>
- Olhar Digital. (18 de 02 de 2019). *Rapsberry Pi: o que é, para que serve e como comprar-* Olhar Digital. Obtido de Olhar Digital: <https://olhardigital.com.br/2019/02/18/noticias/raspberry-pi-o-que-e-para-que-serve-e-como-comprar/>
- Onfray, M. (2008). *Contra-História da Filosofia*. Em M. Onfray, *Contra-História da Filosofia* (Vol. Volume 1). Martins Fontes Editora.
- Paula, C. (2015). *Equilíbrio químico e constante de equilíbrio | Equilíbrio químico*. Obtido de Educação. química: <http://educacao.globo.com/quimica/assunto/equilibrio-quimico/equilibrio-quimico-e-constante-de-equilibrio.html>
- Portal São Francisco. (2020). *Compostos Químicos, Tipo, O que são Compostos Químicos*. Obtido em 04 de 01 de 2021, de Portal São Francisco: <https://www.portalsaofrancisco.com.br>
- Portugal2020. (2014). *O que é o Portugal 2020 | Portugal 2020*. Obtido de Portugal2020: <https://www.portugal2020.pt/content/o-que-e-o-portugal-2020>
- Serviço Nacional de Saúde. (05 de 04 de 2020). *Covid-19 | Medidas preventivas*. Obtido em 11 de 11 de 2020, de SNS24: <https://www.sns24.gov.pt/>
- Spencer Lima, L. (2013). *Mistura*. Obtido em 04 de 01 de 2021, de Faculdade de Ciências da Universidade do Porto: https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_1_num_1_24_art_mistura.pdf
- Steris Life Sciences. (2020). *VHP Sterilization & Biodecontamination | STERIS*. Obtido em 30 de 01 de 2021, de STERIS: <https://www.sterislifesciences.com/>
- Sullivan, A. (05 de 04 de 2020). *As consequências da Covid-19 para a economia mundial*. Obtido em 11 de 11 de 2020, de Deutsche Welle: <https://p.dw.com/p/3aTlf>
- TAFE. (2018). *Lacagem - TAFE*. Obtido de TAFE: <https://www.tafe.pt/lacagem/>

TOMI SteraMist. (2020). *The iHP Process - TOMI Environmental Solutions | SteraMist*.

Obtido em 30 de 01 de 2021, de Tomi: <https://tomimist.com>

Vargas, J. (2020). *Peróxido de Hidrogênio. Peróxido de Hidrogênio e água oxigenada*.

Obtido em 02 de 02 de 2021, de PreParaEnem:
<https://www.preparaenem.com/quimica/peroxido-hidrogenio.htm>

Wikipédia. (08 de 05 de 2021). *Átomo - Wikipédia, a enciclopédia livre*. Obtido de

Wikipédia: <https://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81tomo>

Ziller, E. (17 de 12 de 2020). *Qt Creator 4.14 released*. Obtido de Qt:

<https://www.qt.io/blog/qt-creator-4.14-released>