



**TECNOLOGIA
BARREIRO**

ESCOLA SUPERIOR
POLITÉCNICO SETÚBAL

FABRÍCIO ABREU
DE OLIVEIRA

**MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE
DO AR INTERIOR EM SALAS
LIMPAS: UM ESTUDO
COMPARATIVO EM AMBIENTES
HOSPITALARES**

Relatório de estágio do Mestrado em Engenharia
Biológica e Química

ORIENTADORA

Professora Doutora, Ana Gabriela Gonçalves
Neves Gomes

Supervisor

Engenheiro João Vilela

Dezembro 2023

FABRÍCIO ABREU
DE OLIVEIRA

**MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE
DO AR INTERIOR EM SALAS
LIMPAS: UM ESTUDO
COMPARATIVO EM AMBIENTES
HOSPITALARES**

JÚRI

Presidente: Professora Doutora, Maria de Lurdes de Figueiredo Gameiro, ESTBarreiro/IPS

Orientadora: Professora Doutora, Ana Gabriela Gonçalves Neves Gomes, ESTBarreiro/IPS

Vogal: Professora Doutora, Cátia Beatriz Almeida Ramalhete, Atlântica – Instituto Universitário

Dezembro 2023

Aos meus Pais

A confiança em si mesmo é o primeiro segredo do sucesso

Ralph Waldo Emerson

Agradecimentos

Ao Engenheiro João Vilela pelo apoio, mentoria, orientação e por todo o conhecimento transmitido ao longo do estágio.

À Doutora Ana Gabriela Gomes pela excelente orientação, constante disponibilidade, e ajuda na elaboração da tese ao longo deste trabalho.

A todos os membros que integram o LabEns – Laboratório de Ensaios, nomeadamente André Lima, António Lage e Paulo Carvalho, pelo apoio e disponibilidade que demonstraram ao longo deste trabalho, além da simpatia com que sempre me trataram.

À Direção da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal – e a todos os seus elementos que foram sempre compreensivos e colaboraram para a realização deste trabalho.

A toda a equipa das diferentes entidades hospitalares, por terem contribuído de forma valiosa para a realização deste estudo nas suas instalações.

Aos meus pais e irmã por toda a paciência revelada e encorajamento incondicional.

Resumo

Este estágio curricular de término do mestrado em Engenharia Biológica e Química foi desenvolvido nas instalações da ATM - Assistência Total em Manutenção S.A. em Lisboa, nomeadamente no LabEns – Laboratório de Ensaios da ATM.

O objetivo desta tese foi a comparação dos resultados de vários ensaios diferentes realizados no âmbito da Qualidade do ar Interior (QAI) conforme a legislação portuguesa (Portaria 138-G/2021) e ISO 7730 para os parâmetros de conforto térmico, e ensaios realizados no âmbito das Salas Limpas conforme a Norma ISO 14644, e desta forma procurar correlações entre parâmetros físico-químicos e microbiológicos medidos nestes ensaios.

Também foi objetivo encontrar uma correlação entre parâmetros dos ensaios da QAI ou Salas Limpas realizados em salas com características diferentes.

Na hipótese de ser encontrada uma correlação entre parâmetros dos ensaios QAI com parâmetros dos ensaios das Salas Limpas, por exemplo entre parâmetros físico-químicos de um ensaio de Salas Limpas e parâmetros microbiológicos de ensaios QAI tornar-se-ia possível, na interpretação dos resultados dos ensaios, acrescentar informação para fornecer aos clientes sobre outros parâmetros não medidos nesses ensaios (mas que este estudo demonstra com elevada probabilidade correlação). Desta forma pode-se orientar os clientes para a necessidade de outros ensaios complementares ou alertar para a probabilidade de existência de algum risco correlacionado com os parâmetros medidos nesse ensaio. Isto pode constituir uma mais-valia para o cliente, principalmente a nível da segurança.

Os ensaios realizados foram realizados ao longo do estágio, em 32 Salas Limpas de 11 serviços hospitalares distintos e 3 ambientes hospitalares diferentes.

Foi encontrada a correlação entre parâmetros de ensaios QAI, nomeadamente a quantidade de bactérias e fungos presentes no ar das salas, com parâmetros da norma de ISO 14644 das mesmas salas. Foi inferido que há uma maior tendência de desenvolvimento destes microrganismos em salas com classificação ISO mais altas (consideradas assim menos limpas). Foi igualmente encontrada uma correlação entre parâmetros de ensaios ISO 14644. Concluiu-se que as salas com as ISO mais baixas, isto é com ar mais limpo de contaminantes, são as que possuem o fluxo de ar unidirecional, conforme expectável.

Na generalidade, os resultados obtidos, estes encontravam-se dentro dos limites impostos pela legislação aplicável excetuando-se algumas salas com os COVT e formaldeído um pouco altos.

Palavras-Chave: Qualidade do Ar Interior; ISO 14644; fluxo de ar unidirecional, Salas Limpas; Portaria 138-G/2021.

Abstract

This curricular internship to complete the master's degree in Biological and Chemical Engineering was developed at the facilities of ATM - Assistência Total em Manutenção S.A. in Lisbon, namely at LabEns – ATM Testing Laboratory.

The objective of this thesis was to compare the results of several different tests carried out within the scope of Indoor Air Quality (IAQ) in accordance with the Portuguese legislation (Ordinance 138-G/2021) and ISO 7730 for thermal comfort parameters, and tests carried out in scope of Clean Rooms in accordance with ISO 14644, and thus seek correlations between physical-chemical and microbiological parameters measured in these tests.

The objective was also to find a correlation between parameters of the IAQ or Clean Room tests carried out in rooms with different characteristics.

If a correlation is found between parameters of the IAQ tests with parameters of the Clean Room tests, for example between physicochemical parameters and a Clean Room test and microbiological parameters of IAQ tests, it would become possible to interpret the results. In this scenario, clients could be guided towards the need for other complementary tests or alerted for the probability of the existence of some risk correlated with the parameters measured in this test. This can be an added value for the client, especially in terms of safety.

The tests conducted were carried out in 32 Clean Rooms from 11 different hospital services, and 3 hospital environments.

A correlation was found between IAQ test parameters, specifically the amount of bacteria and fungi present in the air of the rooms, and parameters of ISO 14644 standard for the same rooms. It was inferred that there is a greater tendency for the development of these microorganisms in rooms with higher ISO classifications (considered less clean). A correlation was also found between ISO 14644 test parameters. It was concluded that rooms with lower ISO classifications, i.e., with cleaner air, free of contaminants, are those with the expected unidirectional air flow. In general, the results obtained were within the limits imposed by applicable legislation, except for the rooms with slightly higher than legislated, for VOCs and formaldehyde.

keywords: Indoor Air Quality; ISO 14644; unidirectional airflow, Clean Rooms; Ordinance 138-G/2021.

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas	xii
Símbolos e Abreviaturas	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS DO ESTÁGIO.....	1
3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE ACOLHIMENTO	2
3.1. ATM - Assistência Total em Manutenção S.A.	2
3.1.1. Organograma da ATM	3
3.1.2. Missão, visão e valores.....	4
4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.....	4
5. CRONOGRAMA DO ESTÁGIO.....	6
6. QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESPAÇOS DE TRABALHO	7
6.1. Importância da qualidade do ar em espaços de trabalho	7
6.1.1. Efeitos de longo e curto prazo da exposição a poluentes atmosféricos	7
6.1.2. Impacto da má qualidade do ar na saúde e no bem-estar dos trabalhadores.....	8
6.2. Regulamentações e normas relativas à Qualidade do Ar Interior em ambientes de trabalho.....	9
6.2.1. Monitorização da QAI	9
6.2.2. Classificação das Sala Limpas.....	11
6.3. Tipos de poluentes que afetam a QAI e análises	16
6.3.1. Poluentes Físico-químicos	16
6.3.2. Microbiológicos.....	27
7. MATERIAL E PROCEDIMENTOS	30

7.1. Equipamentos	30
7.2. Procedimentos	31
7.2.1. QAI e Salas Limpas	31
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
8.1. Locais para monitorização da Qualidade do Ar Interior.....	34
8.1.1. Características dos locais analisados	34
8.2. Ensaio monitorização da QAI e Salas Limpas	36
8.3. Correlações dos ensaios da QAI.....	37
8.3.1. Concentração de partículas (PM ₁₀ e PM _{2,5} µm) versus a concentração de CO ₂	39
8.3.2. Concentração de partículas (PM ₁₀ e PM _{2,5} µm) versus a concentração de CO.....	40
8.3.3. Concentração de partículas (PM ₁₀ e PM _{2,5} µm) versus concentração de Formaldeído.....	40
8.3.4. Concentração de partículas (PM ₁₀ e PM _{2,5} µm) versus a concentração de compostos orgânicos voláteis totais (COVT)	41
8.3.5. Concentração de partículas (PM ₁₀ e PM _{2,5} µm) versus Temperatura e Humidade Relativa.....	42
8.4. Correlações dos parâmetros medidos nas Salas Limpas.....	45
8.4.1. Fluxo não unidirecional de ar versus Classificação Salas Limpas.....	45
8.4.2. Fluxo unidirecional de ar versus Classificação Salas Limpas.....	46
8.5. Correlações QAI versus Salas Limpas	49
8.5.1. Variação da Quantidade de Bactérias e Fungos em Salas Limpas de Fluxo Unidirecional de ar e humidade relativa	49
8.5.2. Variação da Quantidade de Bactérias e Fungos em Salas Limpas de Fluxo não Unidirecional de ar e humidade relativa	50
8.6. Estimativas de crescimento de microrganismos para as Salas Limpas.....	51
9. CONCLUSÕES.....	54
10. CONCLUSIONS.....	56
11. BIBLIOGRAFIA.....	58
Anexo A – Resultados dos ensaios efetuados as Salas Limpas	64

Anexo B – Parâmetros limites dos ensaios.....	74
Anexo C – Folhas de registo dos ensaios	80
Anexo D – Equipamentos QAI e SL.....	84

Índice de Figuras

Figura 1: Cronologia da empresa ATM e respetivos locais de funcionamento.	3
Figura 2: Cronologia da empresa ATM - Assistência Total em Manutenção S.A.	3
Figura 3: Efeitos a curto e longo prazo dos poluentes atmosféricos.	8
Figura 4: Sala Limpa e suas características.....	12
Figura 5: Salas com fluxo não unidirecional e direcional respetivamente.	15
Figura 6: Partículas aloçadas nos pulmões conforme a sua dimensão.....	17
Figura 7: Tecnologia de laser de diodo.	18
Figura 8: Ligação do CO à hemoglobina.	19
Figura 9: Riscos da exposição ao formaldeído.	20
Figura 10: Pastilhas colorimétricas de formaldeído.....	21
Figura 11: Representação gráfica da percentagem de emissões de CO ₂ em Portugal 2020 por setores.	22
Figura 12: Deteção fotoquímica do Graywolf – Direct Sense.	23
Figura 13: NDIR - Espectroscopia de infravermelhos.	24
Figura 14: Princípio de funcionamento do sensor eletroquímico.....	24
Figura 15: Balometer de corpo inteiro e display do mesmo desligado e ligado.	25
Figura 16: Área de abertura do Balometer, superior e inferior respetivamente.....	25
Figura 17: Grelha do Balometer e respetivos elementos.....	26
Figura 18: Tubo de metal com abertura.	26
Figura 19: Amostrador de ar VWR SAS Super DUO 360.....	28
Figura 20: Meios de cultura PCA e MEA respetivamente.....	28
Figura 21: Amostrador de ar com os orifícios a mostra.	29
Figura 22: Sala Limpa (Sala de Cirurgia).	32
Figura 23: Sala Limpa (Recobro).....	32
Figura 24: Medição das pressões diferenciais.	32
Figura 25: Concentração de partículas PM ₁₀ e PM _{2,5} µm (µg/m ³) versus a concentração de CO ₂ (ppm).	39
Figura 26: Concentração de partículas PM ₁₀ e PM _{2,5} µm (µg/m ³) versus CO (ppm).	40
Figura 27: Concentração de partículas PM ₁₀ e PM _{2,5} µm (µg/m ³) versus a concentração de Formaldeído (ppm)..	41
Figura 28: Concentração de partículas PM ₁₀ e PM _{2,5} µm (µg/m ³) versus COVT.....	42

Figura 29: Concentração de partículas PM10 e PM2,5 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) versus Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e Humidade Relativa (%).....	43
Figura 30: Concentração de partículas PM10 e PM2,5 μm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) versus Humidade Relativa.....	44
Figura 31: Variação da Temperatura e Humidade Relativa para as várias salas limpas, com a respetiva classificação ISO para fluxo de ar não unidirecional.....	45
Figura 32: Variação da Temperatura e Humidade Relativa para as várias salas limpas para fluxo de ar unidirecional, com a respetiva classificação ISO.....	46
Figura 33: Variação da concentração de bactérias que crescem a 37°C e de fungos que crescem a 22°C com a humidade relativa (HR%) para as várias salas limpas para fluxo de ar unidirecional, com a respetiva classificação ISO.....	49
Figura 34: Variação da concentração de bactérias que crescem a 37°C e de fungos que crescem a 22°C com a humidade relativa (HR%) para as várias salas limpas para fluxo de ar não unidirecional, com a respetiva classificação ISO.	51

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Cronograma do estágio realizado na instituição ATM - Assistência Total em Manutenção S.A, de agosto a novembro de 2023	6
Tabela 2 – Parâmetros limites do conforto térmico-caso gerais	10
Tabela 3 - Classificação das áreas hospitalares em termos de qualidade de ar e respetiva monitorização	11
Tabela 4 - Classificação dos COVT de acordo com os pontos de ebulição	18
Tabela 5 – Materiais de construção e os seus respetivos fatores de emissão de formaldeído	21
Tabela 6 – Princípio de funcionamento dos equipamentos de QAI e Salas Limpas	30
Tabela 7 – Locais onde o discente procedeu a medição de parâmetros que garantem a QAI, incluindo os serviços nos respetivos locais.	34
Tabela 8 – Ensaios e parâmetros realizados.....	38
Tabela 9 – Média e desvio-padrão dos parâmetros da QAI e comparação com os fluxos da sala.....	37
Tabela 10 – Quantidade, tipo de Salas Limpas e fluxos associados	39
Tabela 11 – Média e desvio-padrão das Salas Limpas e respetivos fluxos	46
Tabela 12 – Salas Limpas, serviço, ISO e tipo de fluxo associado.....	48
Tabela 13 – Parâmetros estatísticos das Salas Limpas com base no seu tipo de fluxo	52
Tabela 14 – Classificação e respetiva probabilidade de aparecimento de microrganismos .	52

Símbolos e Abreviaturas

ACSS Administração Central do Sistema de Saúde

AP Apoio Permanente

APA Agência Portuguesa do Ambiente

ATM Assistência Total em Manutenção S.A.

AVAC Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado

CH₂O Formaldeído

CO₂ Dióxido de Carbono

CO Monóxido de Carbono

COVT Compostos Orgânicos Voláteis Totais

Efacec Empresa Fabril de Máquinas Elétricas

EPA *Environmental Protection Agency*

HEPA *High Efficiency Particulate Arrestance*

IARC Agência Internacional de Pesquisa em Cancro

IEFP Instituto de Emprego e Formação Profissional

IV Infravermelhos

ISO Organização Internacional de Normalização

LabEns Laboratório de Ensaios

MEA *Malt Extract Agar*

NDIR Espectroscopia de Infravermelhos Não Dispersivo

O₃ Ozono

OMS Organização Mundial da Saúde

PCA *Plate Count Agar*

PM₁₀ Partículas em Suspensão com diâmetro inferior a 10 µm

PM₅ Partículas em Suspensão com diâmetro inferior a 5 µm

PM_{2.5} Partículas em Suspensão com diâmetro inferior a 2,5 µm

PM_{0.5} Partículas em Suspensão com diâmetro inferior a 0,5 µm

PM_{0.3} Partículas em Suspensão com diâmetro inferior a 0,3 µm

PID *Photo Ionization Detector*

ppm Partes por Milhão

QAI Qualidade do Ar Interior

SNCEF Sistema Nacional de Certificação das Entidades Formadoras

SL Sala Limpa

UCA Unidade de Cirurgia de Ambulatório

UCPA Unidade de Cuidados Pós-Anestésicos

UCERN Unidade de Cuidados Especiais ao Recém-Nascido

UCI Unidade de Cuidados Intensivos

UCICA Unidade de Cuidados Intensivos de Crianças e Adolescentes

UFC Unidades Formadoras de Colônias

UTA Unidade de Tratamento de Ar (Equipamento de climatização)

UTAN Unidade de Tratamento de Ar Novo (Equipamento de climatização)

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório de estágio foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Estágio Curricular, do curso de mestrado em Engenharia Biológica e Química – Ramo dos Processos Químicos, da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, do Instituto Politécnico de Setúbal. O estágio foi estabelecido através dos estágios ATIVAR desenvolvidos pelo IEFP – Instituto de Emprego e Formação Profissional e foi levado a cabo no laboratório de ensaios da empresa ATM – Assistência e Manutenção Total S.A. As principais atividades desta empresa são concentradas nas indústrias químicas, petroquímicas, aeronáuticas, de energia, militares, de saúde de *soft services* e as análises realizadas na LabEns – Laboratório de Ensaio, soluções de engenharia, etc.

2. OBJETIVOS DO ESTÁGIO

O presente estágio permitiu ao discente:

- Conhecer a área do laboratório de ensaios e a empresa de forma a obter uma compreensão completa das áreas de atuação do laboratório de ensaios - LabEns, bem como conhecer processos e procedimentos para cada ambiente para a monitorização de partículas, medição de velocidade do ar, teste de pressão diferencial, monitorização de humidade e temperatura, e monitorização de partículas microbiológicas entre outras e subsequente realização dos relatórios das atividades laboratoriais.
- Identificar processos e estabelecer correlações entre parâmetros em ambientes hospitalares.
- Pesquisar e rever a literatura relacionada com a qualidade do ar interior e assim identificar e selecionar indicadores relevantes para avaliar a qualidade do ar nos espaços monitorizados.

O trabalho de estágio decorreu ao longo de quatro meses entre agosto e novembro de 2023.

3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO DE ACOLHIMENTO

O estágio curricular para a tese de dissertação no mestrado de Engenharia Química e Biológica foi desenvolvido na ATM - Assistência Total em Manutenção S.A. (ATM, SA).

3.1. ATM - Assistência Total em Manutenção S.A.

A ATM é uma empresa de referência, em Portugal e Espanha, na área da Manutenção e Engenharia multidisciplinar.

A ATM foi fundada em 1991 e resultou do processo de fusão, finalizado em março de 2016, entre a ATM – Assistência Total em Manutenção e a Efacec – Serviços de Manutenção e Assistência unidade propulsora de manutenção do grupo Efacec, acumulando os recursos, *know-how* e experiência destas duas empresas. A ATM encontra-se sediada em Lisboa, uma sucursal no Norte na Maia, um centro operacional no Barreiro e ainda fora do país, em Espanha, uma sede em Madrid e uma delegação norte em Gijón, **Figura 1**.

Com uma larga experiência no mercado, a ATM, presente em Portugal e Espanha, conta com mais de 600 colaboradores e está presente em diversas empresas de renome de diversos setores económicos, com o objetivo de: garantir serviços de manutenção preventiva e corretiva; conservação; reparação; reabilitação e condução de instalações, sistemas e equipamentos- em domínios tão diversos como redes de energia e transportes, grandes edifícios, instalações industriais e hospitalares, com especial referência para a prestação de serviços de Manutenção de Instalações Complexas [1].

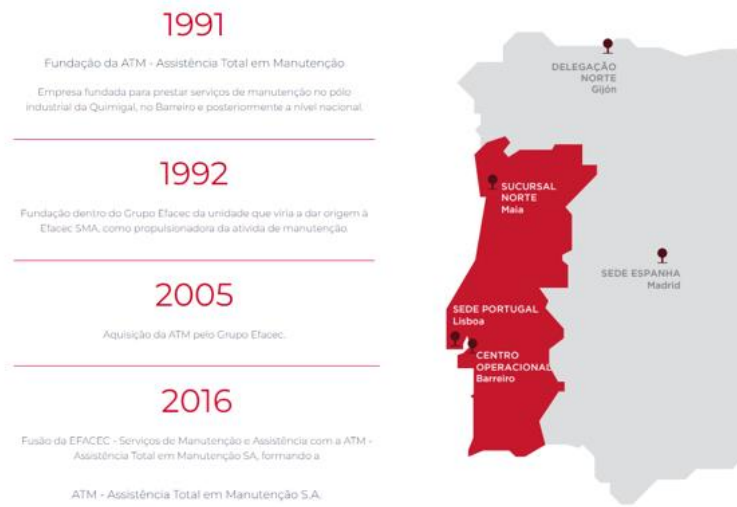


Figura 1: Cronologia da empresa ATM e respetivos locais de funcionamento [1].

3.1.1. Organograma da ATM

A estrutura acionista da ATM - Manutenção Total é detida, em partes iguais, pelos grupos José de Mello e Têxtil Manuel Gonçalves, representado no organograma da **Figura 2**:

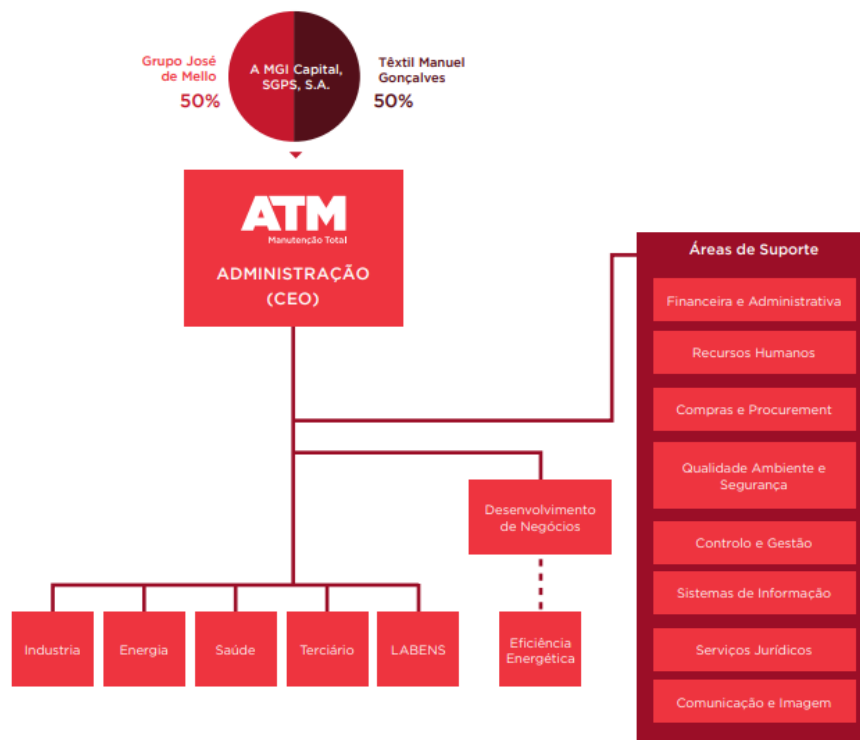


Figura 2: Organograma da empresa ATM - Assistência Total em Manutenção S.A. [1].

3.1.2. Missão, visão e valores

A ATM tem como missão fornecer soluções de Manutenção e Engenharia multidisciplinar de alta qualidade para clientes em Portugal e Espanha, visando a eficiência e confiabilidade de instalações, sistemas e equipamentos para garantir a segurança e o desempenho dos mesmos. A visão da empresa é ser reconhecida como referência na área de Manutenção e Engenharia, sendo a escolha preferencial dos clientes em diversos setores económicos. Os valores da ATM consistem na busca pela excelência, integridade, ética, compromisso com a qualidade e segurança em todas as atividades.

A empresa promove um ambiente de colaboração e trabalho em equipa, reconhecendo o valor das contribuições individuais para o sucesso coletivo. Para além disso, a ATM tem também Responsabilidade social e ambiental, de modo a minimizar impactos negativos e contribuir positivamente para a comunidade e o meio ambiente [1].

4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Para a realização destes ensaios como estagiário da empresa, foram cumpridas as seguintes ações de formação, que fazem parte do plano de integração no Laboratório de Ensaios:

1. Dois ensaios de acompanhamento por um Técnico de Ensaios competente, em que o discente pode observar a metodologia de ensaio e lhe foram explicadas as especificidades de cada ensaio e as medidas a ter em conta para que os resultados sejam representativos e se possa minimizar ou descartar as interferências externas;
2. Realização de um ensaio com supervisão de um Técnico de Ensaios competente em que no final do ensaio o discente teve de obter uma aprovação positiva escrita nas folhas de registo no ensaio;
3. Realização dos ensaios por parte do discente, que constam nesta tese como Técnico de Ensaio responsável ou em coautoria com outros Técnicos de Ensaios que o laboratório destacou para a realização destes ensaios.

Durante o período de estágio curricular foram desenvolvidas diversas atividades que permitiram obter um conhecimento aprofundado sobre o funcionamento de um laboratório de ensaios, como o da ATM, os ensaios realizados e as possíveis correlações existentes entre os mesmos. Abaixo, encontram-se as atividades desenvolvidas durante o estágio curricular.

4. Conhecimento dos processos e procedimentos para a medição de parâmetros da Qualidade do Ar Interior (QAI) e Salas Limpas (SL) para cada ambiente e serviço em ambiente hospitalar, de modo a ter-se uma base fundamental para o trabalho no Laboratório de Ensaios. Inclui-se nesta atividade a familiarização com as normas, regulamentações e protocolos aplicáveis ao setor industrial, hospitalar entre outros documentos necessários para a compreensão da qualidade do ar interior.
5. Recurso a ferramentas informáticas utilizadas no desempenho da função, nomeadamente conhecimento de softwares de análise de dados, tal como o Excel e outras plataformas tecnológicas essenciais para o bom desempenho das atividades.
6. Desenvolvimento de atividades laboratoriais para monitorização de indicadores de qualidade do ar interior (monitorização de partículas, medição de velocidade do ar, teste de pressão diferencial, monitorização de humidade e temperatura, monitorização da concentração de partículas microbiológicas, entre outras análises específicas).
7. Elaboração de relatórios e documentos de suporte à atividade, envolvendo o registo de resultados dos ensaios, a descrição dos procedimentos adotados, a análise e interpretação dos dados obtidos, e apresentação de conclusões e recomendações relevantes.
8. Identificação dos processos que ocorrem em cada ambiente e correlacionar com os parâmetros a analisar. Esta análise permite compreender como diversos fatores físico-químicos e microbiológicos podem influenciar os resultados dos ensaios e contribuir para a interpretação adequada dos dados obtidos.
9. Procura de correlações entre parâmetros distintos realizados em ambientes hospitalares para melhorar os processos de análise e controle de qualidade. Esta análise comparativa é uma abordagem valiosa para melhorar os processos hospitalares, levando a resultados mais confiáveis e seguros em ambos os cenários (QAI e Salas Limpas).

5. CRONOGRAMA DO ESTÁGIO

As atividades referidas no ponto 4 foram desenvolvidas de acordo com a seguinte calendarização, descrita na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Cronograma do estágio realizado na instituição ATM - Assistência Total em Manutenção S.A, de agosto a dezembro de 2023

Atividades	Semanas																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Revisão bibliográfica relacionada à Qualidade do Ar Interior em espaços de trabalho hospitalares, incluindo estudos anteriores em Salas Limpas.																			
Medição, coleta e organização dos dados de diferentes ensaios em ambientes de trabalho diferentes.																			
Análise estatísticas dos dados recolhidos e subsequente procura de correlações entre os ensaios efetuados e os resultados obtidos.																			
Colaborar proactivamente em propostas de melhoria de eficiências técnicas, de procedimentos de ensaio e de segurança.																			
Aquisição de conhecimento sobre a gestão e cumprimento dos protocolos de segurança e de ensaio dos clientes.																			
Desenvolver competências na elaboração de relatórios internos regulares sobre a atividade que é realizada, e onde são evidenciados os pontos mais relevantes e aspetos críticos a analisar, e elaboração de recomendações de melhoria de desempenho.																			
Tratamento de resultados																			
Escrita do Relatório de estágio																			

6. QUALIDADE DO AR INTERIOR EM ESPAÇOS DE TRABALHO

6.1. Importância da qualidade do ar em espaços de trabalho

A qualidade do ar em espaços de trabalho desempenha um papel fundamental na saúde respiratória e no desempenho dos trabalhadores, englobando a composição e eventual presença de substâncias químicas, partículas suspensas, bem como a temperatura, humidade e uma ventilação adequada. Um ambiente de trabalho com ar limpo e bem ventilado promove um maior conforto e bem-estar, resultando em uma maior satisfação dos trabalhadores [2].

A importância da qualidade do ar vai além do aspeto individual. Estudos mostram que a melhoria da qualidade do ar está associada a uma redução nos problemas de saúde dos funcionários, o que resulta em menor absentismo e maior produtividade no local de trabalho. Para garantir a qualidade do ar em espaços de trabalho, é fundamental implementar medidas como a manutenção regular dos sistemas de ventilação e filtragem de ar, o controle adequado de fontes de poluentes internos e a consciencialização dos funcionários sobre práticas saudáveis relacionadas com o ar ambiente [2].

É assim crucial avaliar a QAI porque se passa a maior parte do tempo em ambientes fechados e a exposição a poluentes ou condições atmosféricas adversas pode ter um impacto significativo na saúde respiratória, alergias, conforto e produtividade [2].

6.1.1. Efeitos de longo e curto prazo da exposição a poluentes atmosféricos

Segundo a Agência de Proteção Ambiental EPA, *Environmental Protection Agency* (EPA), as pessoas podem ser expostas a diferentes concentrações de poluição do ar, e a má qualidade do ar pode afetá-las em diferentes intervalos de tempo. Essa exposição pode ocorrer durante curtos períodos durante o dia ou com maior frequência em dias específicos. Além disso, a exposição a poluentes pode ocorrer ao longo de vários dias, semanas ou meses e até anos, devido à poluição sazonal, como o aumento do buraco do ozono no verão ou das partículas provenientes de lareiras a lenha no inverno. Os impactos na saúde decorrentes da exposição à poluição do ar dependem da duração e concentrações dos poluentes, bem como do estado

de saúde das populações afetadas, como demonstrado na **Figura 3**. É necessário realizar estudos para aumentar o conhecimento sobre a duração da exposição e o possível aumento cumulativo do risco [3].



Figura 3: Efeitos a curto e longo prazo dos poluentes atmosféricos (Autoria própria).

6.1.2. Impacto da má qualidade do ar na saúde e no bem-estar dos trabalhadores

Num estudo levado a cabo pela Ana Maria da Conceição Ferreira, no decorrer do programa de pós-doutoramento em Impacto da Qualidade do Ar na Saúde Humana, avaliou-se a Qualidade do Ar Interior (QAI) nas habitações de indivíduos em teletrabalho com uma amostra constituída por 70 habitações, 70 trabalhadores e 18 locais de trabalho. Foram identificadas relações entre a Qualidade do Ar Interior e, sintomas de doenças, nos ocupantes dos edifícios. Os locais de trabalho revelaram valores elevados e preocupantes de formaldeído (CH_2O), muito provavelmente devido às recentes requalificações dos edifícios e também devido ao novo mobiliário/equipamento que foi adquirido, pelo que é imperioso tomar medidas rápidas de eliminação ou diminuição das concentrações no interior dos edifícios avaliados, para níveis abaixo do valor limiar de proteção legislado [4].

Num outro estudo realizado com uma amostra de 13 mercearias localizadas no município de Cascais, realizado entre novembro de 2021 e fevereiro de 2022, verificou-se que as mercearias estavam em conformidade com a legislação portuguesa em relação à qualidade do ar interior, com a exceção da concentração de partículas finas ($\text{PM}_{2.5}$), onde 61,5% das mercearias excederam o valor limite estabelecido pela legislação portuguesa. Sendo assim, com base nos resultados obtidos pela monitorização das mercearias, algumas medidas de controle devem ser aplicadas para reduzir os níveis de partículas finas e ajustar os parâmetros de conforto tais como a temperatura, humidade relativa [5].

Com os dados obtidos não é possível tirar conclusões muito objetivas, pois são necessárias ainda algumas pesquisas adicionais para compreender melhor a percepção da QAI pelos trabalhadores e estabelecer uma conexão entre os resultados encontrados e as possíveis implicações negativas para a saúde bem como que medidas a tomar [5].

6.2. Regulamentações e normas relativas à Qualidade do Ar Interior em ambientes de trabalho

6.2.1. Monitorização da QAI

Para uma boa qualidade do ar em ambientes de trabalho é necessário ter uma boa monitorização da Qualidade do Ar Interior (QAI) que é definida por um conjunto de parâmetros físico-químicos e microbiológicos definidos pela comunidade científica e pelo legislador, que devem ser medidos com determinados métodos definidos em normas e legislação, e que comparados com os valores mínimos e limiares de deteção e as condições de referência para os edifícios de comércio e serviços, permite qualificar o ar ambiente em que estão expostas as pessoas e compartimentos no interior dos edifícios [6].

A principal legislação aplicável à QAI é a Portaria nº 138G-2021 de 1 de junho, referente aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos a medir no ar, e o Despacho 1618/2022 trata dos métodos de medição e a definição de zonas de amostragem. Antes disso, a Portaria nº 353A-/2013 de 4 de dezembro, foi substituída em parte pela Portaria nº 138G-2021, no que se refere aos parâmetros no ar. No entanto esta portaria não foi totalmente substituída pois inclui um parâmetro relevante, a de deteção *Legionella* a medir na Água dos tabuleiros de condensados e/ou baterias das Unidades de tratamento de ar (UTA)/Unidades de tratamento de ar novo (UTAN) [7][8].

Os limiares de proteção indicados na legislação vide **Tabela B1** do **Anexo B** dizem respeito a uma média de oito horas sujeitos a um determinado ar interior, por correspondência ao cenário de maior ocupação possível. As tolerâncias propostas aplicam-se a edifícios novos e existentes (incluindo edifícios renovados) sem sistemas de ventilação mecânica. A análise de Radão é obrigatória em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco. Todavia, durante o estágio não foi realizada esta análise [9].

No que diz respeito à temperatura e humidade relativa, esses parâmetros da QAI são regidos pela norma ISO 7730, que é uma norma internacional que trata do conforto térmico em ambientes internos, ou seja, não é uma lei e sim recomendações. Esta norma fornece diretrizes e métodos para avaliar e quantificar o conforto térmico humano em espaços fechados, tendo como principal objetivo estabelecer parâmetros que permitam a criação de

condições ambientais ideais para o conforto humano, facilitando o equilíbrio entre as necessidades fisiológicas e as condições ambientais, como mostrado na **Tabela 2** [10].

Tabela 2 – Parâmetros limites do conforto térmico-caso gerais [10]

Parâmetros		Valor máximo regulamentado
Conforto térmico	Temperatura	Verão: 23 a 26 °C Inverno: 20 a 24 °C
	Humidade Relativa	30 a 70 %HR

As condições de referência para o controle dos parâmetros microbiológicos, são as concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e mg/m^3 e referem-se à temperatura de 20 °C e pressão de 1 atm. Geralmente estas condições dizem respeito a bactérias e fungos, medidos em UFC/ m^3 (unidade formadora de colónia), em que as concentrações de bactérias totais no interior é inferior à concentração no exterior acrescida de 350 UFC/ m^3 e a concentração de fungos no interior é inferior à detetada no exterior [9].

As condições específicas para a verificação de fungos e bactérias com base na perigosidade das diferentes espécies pode ser consultado na **Tabela B2**, do **Anexo B**.

6.2.1.1. A monitorização da QAI em espaços de trabalho hospitalares e industriais

Os ambientes hospitalares são muito mais complexos do que outros espaços comerciais ou industriais devido à diversidade de instalações e particularidades dos ocupantes. Sendo assim, tem de se ter em conta que as enfermarias hospitalares possuem múltiplas salas e serviços médicos como: blocos operatórios, blocos de partos, quartos de internamento, unidades de cuidados intensivos, cuidados ambulatoriais, farmácias, clínicas de radiologia, laboratórios, salas de recobro, etc. Cada um destes serviços serve um propósito e a rotina diária dos ocupantes pode variar muito. Desse modo, dada a complexidade que são os ambientes hospitalares em termos de poluentes presentes é extremamente importante monitorizar a qualidade da QAI desses ambientes [11].

Portanto, não obstante, da importância da Qualidade do Ar Interior nos hospitais, em território português esta área é largamente negligenciada devido à construção dos edifícios e equipamentos instalados, falta de monitorização da Qualidade do Ar Interior e boas práticas hospitalares. Em Portugal, normalmente os edifícios hospitalares são frequentemente mais antigos, o que indica que os sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) são inadequados e muitas vezes ausentes em algumas áreas do edifício. As áreas hospitalares são divididas em áreas críticas, semicríticas e não críticas. Posto isto, de acordo

com a **Tabela 3**, as áreas hospitalares podem ser divididas em três categorias de acordo com o potencial de transmissão de infeção entre os pacientes e os trabalhadores [12].

Em áreas críticas, a necessidade de uma boa Qualidade do Ar Interior é extremamente importante devido ao alto risco de infeções tanto para os trabalhadores dos hospitais como para os pacientes. Já as áreas semicríticas o risco é moderado embora ainda exista o risco de infeções, e por último as áreas não críticas onde o risco é relativamente baixo em infeções pois são ambientes onde a presença de pacientes em situação mais vulnerável é reduzida, como demonstrado na **Tabela 3** [13].

Tabela 3 - Classificação das áreas hospitalares em termos de qualidade de ar e respetiva monitorização [12]

Classificação	Grau de risco	Exemplos
Área crítica	Áreas de risco elevado na qual a possibilidade de infeções é elevada devido a quantidade de procedimentos invasivos realizados	UCI (Unidade de Cuidados Intensivos), salas de cirurgia, sala dos citotóxicos, salas de isolamento, salas de amamentação, etc.
Área semicrítica	Áreas de risco moderado na qual a possibilidade de infeções é moderada devido alguns pacientes não estarem em cuidados intensivos ou em isolamento	Consultórios, enfermarias, sala de exames, etc.
Área não crítica	Áreas de risco baixo de infeções, ocupadas por não pacientes	Receção, áreas administrativas, armazéns, corredores, elevadores, etc.

6.2.2. Classificação das Sala Limpas

As normas ISO 14644 são as normas internacionalmente mais aplicáveis as Salas Limpas (*Clean rooms*) desenvolvidas pela Organização Internacional de Normalização (ISO). No caso particular da norma ISO 14644-1/2015 estabelece-se as diretrizes para a Classificação das Salas Limpas.

Essa norma visa garantir ambientes críticos em termos de poluição atmosféricas por partículas em laboratórios, indústrias farmacêuticas, indústria eletrónica, alimentar, hospitais e outros setores que necessitem de baixos níveis de partículas em suspensão no ar, e mantenham um ambiente limpo e livre de contaminantes [14].

Desse modo, a norma define as classes de limpeza do ar em termos da concentração máxima permitida de partículas em suspensão com base na dimensão das partículas de 0,3 µm e 0,5 µm. A Classificação das salas é definida por Classes numeradas de 1 a 9, sendo a ISO Classe 1 a classe mais restritiva e difícil de ser atingida, com a menor concentração permitida de

partículas, e a ISO 9 a classe menos restritiva, permitindo maiores concentrações de partículas [14].

As Salas Limpas necessitam possuir determinadas características tais como: portas e janelas que evitem a entrada de partículas indesejadas e, portanto, têm de estar sob pressão (relativamente ao exterior da sala), um bom sistema de filtração, teto modular para facilitar a instalação dos sistemas de iluminação e filtração, construção com materiais não porosos, pavimentos eletrostáticos entre outras características que se apresentam na **Figura 4** [14].



Figura 4: Sala Limpa e suas características (Autoria Própria).

Para determinar a classe adequada de limpeza do ar para um ambiente específico, a ISO 14644-1/2015 tem em consideração fatores como o *Estado de Ocupação* da Sala Limpa e a concentração de partículas no ar e sua dimensão [14].

Para além disso, as Salas Limpas possuem filtros do tipo HEPA 13 e HEPA 14 (*High Efficiency Particulate Arrestance*), e ainda há algumas que possuem o HEPA 15, que são filtros de ar de alta eficiência, mas que diferem na sua eficiência na captura de partículas [15].

Um filtro HEPA 13 é capaz de capturar 99,97% das partículas de ar com um diâmetro até 0,3 μm . Isso significa que a taxa de penetração das partículas é de 0,03%; 30 partículas de ar em cada 1.000.000 irão penetrar num filtro HEPA 13. Os filtros HEPA 13 são considerados filtros de grau médico e são usados quando se precisa do ar mais limpo possível [16] [17].

Por outro lado, um filtro HEPA 14 é capaz de capturar 99,995% das partículas de ar com um diâmetro até 0,1 μm . Isso significa que a taxa de penetração é de 0,01%; apenas 10 partículas de ar em cada 1.000.000 irão penetrar num filtro HEPA 14. Os filtros HEPA 14 são ainda mais eficientes do que os filtros HEPA 13 e são normalmente usados em ambientes industriais,

como salas limpas, laboratórios, onde são necessários níveis extremamente altos de pureza do ar [16].

Fatores a ter em conta para a Classificação do ar nas Salas Limpas:

O processo que decorre dentro da sala e que pode gerar partículas - tipo de atividades realizadas, a quantidade de pessoas e equipamentos dentro da sala, os protocolos de higienização das salas – superfícies, roupas de trabalho, protocolos de acesso as salas com higienização e adufas (sistemas que proporcionam uma barreira aerúlica entre compartimentos adjacentes mais contaminados e a Sala Limpa) [17]. Por exemplo um Bloco Operatório necessita de uma ISO mais baixa possível, isto é menor quantidade possível de partículas em suspensão no ar pois estas podem ser veículos para o transporte de bactérias, fungos e vírus que podem estar na origem de doenças nosocomiais, com impacto na saúde dos pacientes e na economia hospitalar [18].

Essa norma é usada por muitas indústrias em todo o mundo como referência para o projeto, construção, operação e monitorização de Salas Limpas e ambientes controlados, com o objetivo de minimizar a contaminação e manter os padrões de qualidade necessários para suas atividades [14].

No que toca a Farmácias Hospitalares, na **Tabela B4** do **Anexo B**, possui o número máximo permitido de partículas por metro cúbico e os respetivos graus que vão de A à D, de acordo com as dimensões das partículas em salas em repouso e em operação. Relativamente ao tamanho das partículas analisado, este também muda, sendo de 5 µm e 0,5 µm [19].

Nas Farmácias Hospitalares é preciso manter um ambiente limpo e controlado para a manipulação de medicamentos, mas não exige a mesma extrema pureza do ar que as Salas Limpas nos hospitais por exemplo. Portanto o principal objetivo é garantir a segurança e a eficácia dos medicamentos manipulados e fornecidos aos pacientes. Embora o controle de partículas seja importante, não é tão rigoroso, como quanto nas Salas Limpas. E sendo assim, as regulamentações e diretrizes para farmácias geralmente definem requisitos menos rigorosos em termos de tamanho de partículas e são redigidas pela Farmacopeia Europeia [19].

As salas quando estão em repouso ou operacionais também diferem na quantidade de partículas. Por isso, a norma ISO 14644-1/2015 define as classes de limpeza para Salas Limpas e ambientes controlados com base na quantidade máxima permitida de partículas por metro cúbico em diferentes faixas de tamanho de partículas. Essas classes são geralmente expressas em duas condições distintas: em repouso e em operação [14].

1. **Sala “em repouso”:** quando não há atividades em andamento, como produção, manufatura ou manipulação de materiais. Nesse estado, espera-se que a contagem de partículas no ar seja menor, já que não há atividades que gerem partículas no ambiente. As normas ISO 14644-1/2015 especificam limites mais rigorosos para a quantidade máxima de partículas permitidas em salas em repouso, uma vez que a sala

está preparada para uso, mas não está sujeita a processos produtivos ou perturbações [20].

2. **Sala “operacional”**: quando a sala está em operação, com as atividades em curso, como produção, processamento, manipulação de produtos ou pessoas à circular pelo ambiente. Nessas condições, a contagem de partículas tende a aumentar devido às atividades, tais como, a liberação de partículas pelo movimento de pessoas, equipamentos e materiais. A norma ISO 14644-1/2015 estabelece limites mais permissivos para a quantidade máxima de partículas permitidas em salas em operação, levando em consideração o aumento esperado de partículas em relação ao estado de repouso [20].
3. **Sala “como construído” (*as built*)**: Uma sala "*as built*" refere-se ao estado real e final da construção de uma Sala Limpa, ou seja, como ela foi efetivamente construída e configurada após a conclusão do projeto. Isso é importante porque, durante o processo de construção de uma Sala Limpa, é comum que ocorram alterações e ajustes que podem afetar sua eficácia em manter os níveis desejados de pureza do ar. Resumidamente é uma sala sem os funcionários e equipamentos dentro da sala [21].

Os fluxos de ar são bastantes importantes para a classificação das Salas Limpas porque a escolha entre esses tipos de fluxo depende das necessidades específicas da aplicação. Para ambientes onde a contaminação deve ser rigorosamente controlada em áreas específicas, o fluxo unidirecional é o mais apropriado. Nos casos em que a uniformidade da limpeza é mais importante do que a direção do fluxo de ar, o fluxo de ar não unidirecional pode ser preferível [22].

1. Fluxo unidirecional (Fluxo Laminar)

No fluxo unidirecional o ar é fornecido em numa única direção específica e contínua, geralmente de uma parede limpa para outra, **Figura 5**. Isso significa que o ar flui de uma extremidade à outra da sala limpa, seguindo um caminho definido. O fluxo de ar foi projetado para ser uniforme, contínuo e unidirecional, ajudando a controlar a distribuição de partículas no ar. E a zona em que esse fluxo de ar passa é considerado a “área limpa”. Este tipo de fluxo é frequentemente utilizado em ambientes onde é necessário manter uma determinada área extremamente limpa, como em Salas Limpas utilizadas na fabricação de produtos farmacêuticos [22].

2. Fluxo não unidirecional (Fluxo Turbulento)

Já o fluxo não unidirecional não segue uma direção específica e é constante, **Figura 5**. Em alguns casos, é até mais eficaz ter um fluxo de ar que não siga uma direção única. Isto, em ambientes onde a distribuição do ar é ainda mais importante do que a direção unidirecional, tal como num laboratório de investigação onde diferentes áreas da sala podem exigir um elevado grau de limpeza [22].

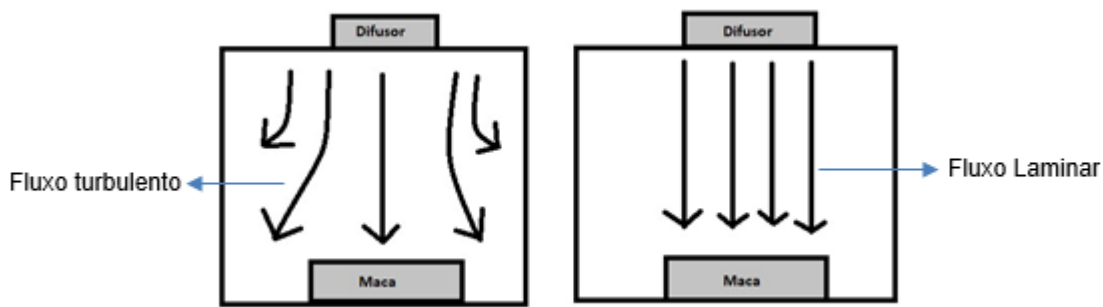


Figura 5: Salas com fluxo não unidirecional e direcional respetivamente (Autoria própria).

Uma especificação bastante importante para a realização dos ensaios de forma a cumprirem os requisitos legais propostos, é a que se encontra na Administração Central do Sistema de Saúde (ACSS), que são especificações para instalações de Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado (AVAC). Sendo estas um conjunto de diretrizes e requisitos que detalham o projeto, instalação e operação de sistemas AVAC em edifícios, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais. Estas especificações foram concebidas para garantir um sistema AVAC eficiente, seguro, económico e amigo do ambiente, proporcionando conforto térmico e boa qualidade do ar interior aos ocupantes [23].

A especificação mais utilizada é a especificação mais utilizada é a ACSS-ET06, na qual para cada compartimento conseguimos obter os parâmetros de pressão, caudal de ar recirculado ou novo, temperatura e humidade relativa mais adequadas, conforme mostrado alguns exemplos na **Tabela B6 do Anexo B** [23].

No que toca à unidades privadas, existem normas relacionadas com os parâmetros de pressão, caudal de ar recirculado e novo, temperatura e humidade para cada compartimento e portarias que devem ser seguidas sendo elas a Portaria n.º 290/2012, em que se estabelecem os requisitos mínimos relativos à organização e funcionamento, recursos humanos e instalações técnicas para o exercício da atividade das unidades privadas que tenham por objeto a prestação de serviços de saúde e que disponham de internamento e a Portaria n.º 291/2012 que estabelece os mesmos requisitos mínimos que tenham atividades no âmbito da cirurgia de ambulatório. As Portarias n.º 290/2012 e n.º 291/2012 são normas estabelecidas pelo Ministério da Saúde de Portugal, que aborda a certificação de estabelecimentos de saúde, no âmbito do Sistema Nacional de Certificação das Entidades Formadoras (SNCEF) [24] [25].

6.3. Tipos de poluentes que afetam a QAI e análises

A QAI é de extrema importância, pois passamos a maior parte do nosso tempo em ambientes fechados, como casas, escritórios e escolas. Infelizmente, o ar em ambientes internos pode ser mais poluído do que o ar exterior, devido a diferentes tipos de poluentes que podem se acumular e causar impactos na saúde e no bem-estar das pessoas [26].

Os poluentes do ar interior podem ser classificados em várias categorias. Sendo eles físico-químicos, como os compostos orgânicos voláteis totais (COVT), o formaldeído, o dióxido de carbono, o monóxido de carbono, as partículas suspensas no ar, etc. E também poluentes microbiológicos como os fungos e bactérias [27].

6.3.1. Poluentes Físico-químicos

6.3.1.1. Partículas em Suspensão no ar ($PM_{2.5}$ PM_{10} $PM_{0.3}$ $PM_{0.5}$)

As partículas em suspensão são uma mistura de compostos em estado sólido e líquido (aerossóis). Essa mistura abrange diversos elementos, como poeiras, fumo, grãos de pólen, esporos de fungos, bactérias, vírus (partículas sólidas) e vapores condensados (partículas líquidas). Essas partículas, de origem orgânica e inorgânica, são compostas principalmente por sulfatos, amônia, nitratos, cloreto de sódio, carbono, poeiras, minerais e água [28].

Comumente, as partículas são categorizadas com base em suas características, sendo que são consideradas esféricas e o diâmetro usado como medida do tamanho. O tamanho das partículas é determinante para determinar onde elas se depositam no sistema respiratório, e a exposição a partículas de diferentes tamanhos está associada a riscos diversos. Na QAI, partículas maiores que 10 μm podem ser eliminadas nas vias respiratórias superiores, enquanto as PM_{10} (partículas inaláveis) tendem a depositar-se na cavidade nasal, faringe e laringe. Já as partículas $PM_{2.5}$ (partículas respiráveis) são depositadas mais profundamente, alcançando a região traqueobrônquica e os alvéolos pulmonares, conforme representado na **Figura 6** [29].

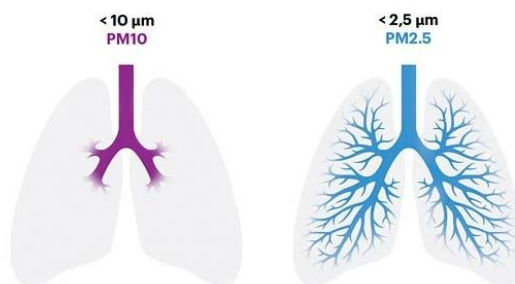


Figura 6: Partículas alocadas nos pulmões conforme a sua dimensão (Autoria Própria).

Já as partículas que são analisadas nas Salas Limpas, são ainda menores em dimensões, como as $0,3 \mu\text{m}$ e $0,5 \mu\text{m}$, e depositam-se ainda mais fundo no sistema respiratório e por isso os requisitos para classificar uma Sala Limpa são ainda mais rigorosos do que na Qualidade do Ar Interior (QAI) [14].

Análise da concentração de Partículas em Suspensão no Ar

Na QAI, o contador de partículas utilizado é do tipo de 6 canais que é um tipo específico de contador de partículas que é capaz de medir partículas em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ com um fluxo de aspiração de $2,83 \text{ l}/\text{m}^3$ de ar com seis faixas de tamanho diferentes. A tecnologia usada neste dispositivo é por laser de diodo em que um feixe de luz é projetado em uma corrente de ar que contém partículas suspensas. Conforme as partículas passam pelo feixe a laser, elas dispersam ou difratam a luz em diferentes direções, onde existe uma contagem em tempo real das partículas (*Real-Time Particle Counting*) [30].

Este dispositivo possui detetores posicionados em ângulos específicos ao feixe incidente. Esses detetores capturam a luz espalhada por partículas em diferentes ângulos. Com base nos padrões de dispersão de luz capturados pelo PC - 3016A, o aparelho pode determinar o tamanho das partículas suspensas no ar. Partículas maiores causam uma dispersão de luz mais nítida, o que resulta em padrões detetáveis em ângulos específicos. Partículas menores têm efeitos de dispersão menos pronunciados e fornecem padrões diferentes das partículas de maiores dimensões. Na QAI as faixas de tamanho utilizadas são as de $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} [30].

Na classificação de Salas Limpas a tecnologia utilizada também é por dispersão por raios de laser de diodo, com a diferença de que o aparelho é capaz de medir partículas/ m^3 com um fluxo de aspiração de $28,3 \text{ l}/\text{m}^3$ de ar. Nela, um laser de diodo emite um feixe de luz que viaja pelo ar junto com as partículas conforme indicado na, **Figura 7**. As partículas espalham a luz em ângulos específicos e os detetores capturam essa luz espalhada para determinar o tamanho e a concentração das partículas. Lasers de diodo são comumente usados porque são compactos, confiáveis e eficientes para medição de partículas [31].

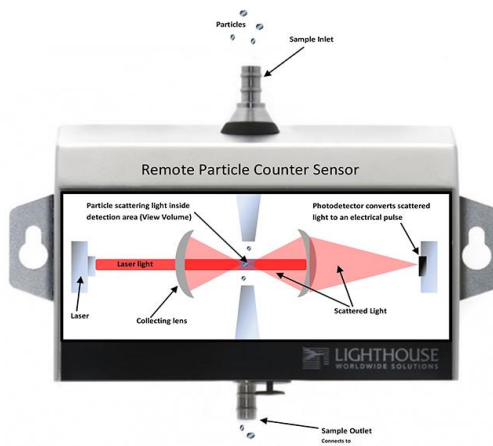


Figura 7: Tecnologia de laser de diodo [32].

Este aparelho ao contrário da QAI possui mais faixas/canais de tamanho, neste caso 8 [32]. Para a classificação de Salas Limpas as faixas utilizadas são as $PM_{0,3}$, $PM_{0,5}$ e para as Farmácias Hospitalares adiciona-se a faixa das PM_5 [19].

6.3.1.2. Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT)

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) os compostos orgânicos voláteis totais (COVT) são caracterizados pela sua alta capacidade de evaporar sob condições normais, o que faz com que se dissipem facilmente no ar e sejam lançados na atmosfera. Essa categoria engloba uma ampla variedade de substâncias, incluindo aldeídos, cetonas e hidrocarbonetos aromáticos monocíclicos, como benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos. Dentro desses compostos, apenas a concentração de benzeno no ar ambiente é alvo de regulação conforme o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro [33].

Os COVT são caracterizados por todos os compostos químicos que contêm átomos de carbono e de hidrogénio e que volatilizam de acordo com a temperatura ambiente. No nosso dia a dia os COVT podem ser encontrados em inúmeros compostos químicos, sintéticos e naturais e estes compostos geralmente são perceptíveis pelos efeitos sensoriais como por exemplo: irritação nos olhos, boca, nas vias respiratórias e também dores de cabeça. Os COVT podem ser libertados por diferentes tipos de fontes como: tintas, revestimentos, gasolinas, carpetes, agentes de limpeza, fotocopiadoras com processo líquido, fontes de combustão, tecidos, entre outros [7].

Tabela 4 - Classificação dos COVT de acordo com os pontos de ebulição (Adaptado da OMS)

Classificação	Abreviação	Limites dos pontos de ebulição (°C)
Compostos orgânicos muito voláteis	COMV	<0 a 50-100
Compostos orgânicos voláteis	COV	50-100 a 240-260

Compostos orgânicos semi- voláteis	COSV	240-260 a 380-400
---	------	-------------------

Segundo a OMS os COVT podem ser classificados de acordo com os seus pontos de ebulição como podemos observar pela **Tabela 4**. Os compostos orgânicos muito voláteis tendem a permanecer no estado líquido em temperaturas ambientes e, portanto, têm uma taxa muito baixa de evaporação, o que significa que geralmente não são uma fonte significativa de poluição atmosférica. Os de ponto de ebulição médio também podem contribuir para a poluição do ar, mas sua taxa de evaporação é menor do que os compostos de orgânicos muito voláteis, já estes compostos tendem a evaporar rapidamente em condições normais de temperatura e pressão, contribuindo para a formação de poluentes atmosféricos e potencialmente causando impactos à saúde humana [27].

6.3.1.3. Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono (CO) é um gás incolor, inodoro e altamente tóxico que existe no ar interior de edifícios e casas. A sua presença no ar interior pode afetar a qualidade do ar e a saúde das pessoas que vivem nesses ambientes. O CO é produzido principalmente por fontes que queimam parcialmente materiais orgânicos, como lareiras a gás, fogões, lareiras, tabaco e motores de combustão interna [29].

O papel do monóxido de carbono na QAI é de grande interesse porque este composto tem uma afinidade muito maior para o sangue do que o oxigénio. Quando inalado, o CO liga-se à hemoglobina no sangue, formando uma ligação estável chamada carboxiemoglobina demonstrado na **Figura 8**. Essa ligação reduz a capacidade de transporte de oxigénio do sangue, reduzindo a quantidade de oxigénio fornecida aos órgãos e tecidos do corpo [34].

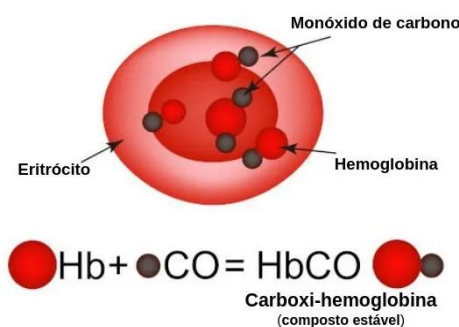


Figura 8: Ligação do CO à hemoglobina [35].

Portanto, para garantir uma boa Qualidade do Ar Interior e evitar problemas relacionados com o CO, é essencial ter ventilação adequada nos ambientes onde ocorre combustão, além de

instalar detetores de CO para alertar sobre concentrações perigosas desse gás. A manutenção regular de dispositivos a gás, fogões e outros equipamentos de combustão também é crucial para prevenir acumulações de CO em espaços fechados e proteger a saúde das pessoas [3].

6.3.1.4. Formaldeído (CH₂O)

O formaldeído é um composto orgânico volátil encontrado no ar interior e é produzido através de várias fontes, incluindo a queima de combustíveis fósseis, tabaco, materiais de construção, móveis, tapetes, produtos de limpeza e alguns produtos de cuidados pessoais. A sua presença no ar interior é um dos principais focos de preocupação devido aos seus potenciais efeitos adversos na saúde humana [27].

O formaldeído é um gás incolor e inflamável à temperatura ambiente, que possui um forte odor característico e que até pode gerar uma sensação de queimação/picada nos olhos, nariz, irritações na garganta, pulmões entre outros riscos associados a toxicidade deste gás em altas concentrações como mostrado na **Figura 9** [36].



Figura 9: Riscos da exposição ao formaldeído [37].

As exposições associadas ao formaldeído ocorrem geralmente em hospitais e instituições científicas, onde a substância é utilizada como desinfetante e conservante. Em locais como escolas, creches e residências ou apartamentos, pode haver emissões descontroladas desse poluente a partir de materiais de construção ou móveis, produtos domésticos e também do uso de eletrodomésticos não emissores, como fogões a gás e tabaco [3].

Segundo a Agência Internacional de Pesquisa em Cancro (IARC), o formaldeído é classificado como um cancerígeno humano do Grupo 1, o que significa que há evidências suficientes de sua carcinogenicidade em seres humanos. Como resultado, muitos órgãos de saúde e reguladores estabeleceram diretrizes e padrões para limitar a exposição ao formaldeído em ambientes internos, como escritórios, escolas e residências [38].

Desse modo, para melhorar a qualidade do ar interno e reduzir a exposição ao formaldeído, é essencial ventilar adequadamente os espaços fechados, escolher materiais de construção e produtos que emitam baixo teor de formaldeído conforme mostrado na **Tabela 5**, evitar fumar em ambientes fechados e usar um purificador de ar eficaz. Monitorar e controlar o formaldeído é essencial para proteger a saúde das pessoas que passam muito tempo em ambientes fechados e garantir uma boa qualidade do ar interno [39].

Tabela 5 – Materiais de construção e os seus respetivos fatores de emissão de formaldeído [39]

Tipo de material de construção	Formaldeído ($\mu\text{m}/\text{mg}^2/\text{dia}$)
Painéis de média densidade de fibras de madeira	17 600 - 55 000
Painéis de contraplacado	1 500 – 34 000
Aglomerado de partículas	2 000 – 25 000
Espuma de isolamento de ureia formaldeído	1 200 – 19 200
Contraplacado de madeira macio	240 – 720
Produtos de papel	260 – 680
Produtos de fibra de vidro	400 – 470
Vestuário	1– 570

Os detetores de gás são dispositivos projetados para medir a concentração de gases específicos no ambiente, incluindo o formaldeído. A tecnologia utilizada é a fotometria fotoelétrica que utiliza pastilhas colorimétricas para a deteção do formaldeído, onde ocorre uma reação chamada *Reação de Schiff*. Este é um método simples baseado na aspiração do ar em que a pastilha já é previamente colocada no aparelho e onde ocorre uma reação química entre o formaldeído e a pastilha que resulta em uma mudança de cor da mesma, **Figura 10**. Essa mudança de cor é então correlacionada com a concentração de formaldeído na amostra, que, quanto mais escura é a cor maior a concentração de formaldeído [40].



Figura 10: Pastilhas colorimétricas para medição de formaldeído (Autoria própria).

6.3.1.5. Dióxido de Carbono (CO₂)

Segundo a APA, a nossa atmosfera, com cerca de 1000 km de comprimento é composta por diferentes camadas com diferentes características cada uma, nomeadamente temperatura e pressão: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera, ionosfera e exosfera, com características distintas, nomeadamente temperatura e pressão. O ar que respiramos é essencial para a vida, tanto que os humanos podem ficar sem comida por alguns dias, sem água por algumas horas, mas não conseguem ficar sem respirar por muito tempo. Os seres humanos inalam uma média de cerca de 14 kg de ar por dia [33].

Em Portugal, conforme representado no gráfico de pizza da **Figura 11**, o setor de energia, no qual os transportes estão incluídos, é um dos principais contribuintes para as emissões de gases de efeito estufa ao longo de toda a série histórica, respondendo por 67,1% das emissões nacionais em 2020 e apresentando uma redução de 20%, 5% em 2019. Neste setor, produção de energia e transporte são as fontes mais importantes, respondendo por aproximadamente 18,1 e 5,8% do total das emissões nacionais em 2020 [34].

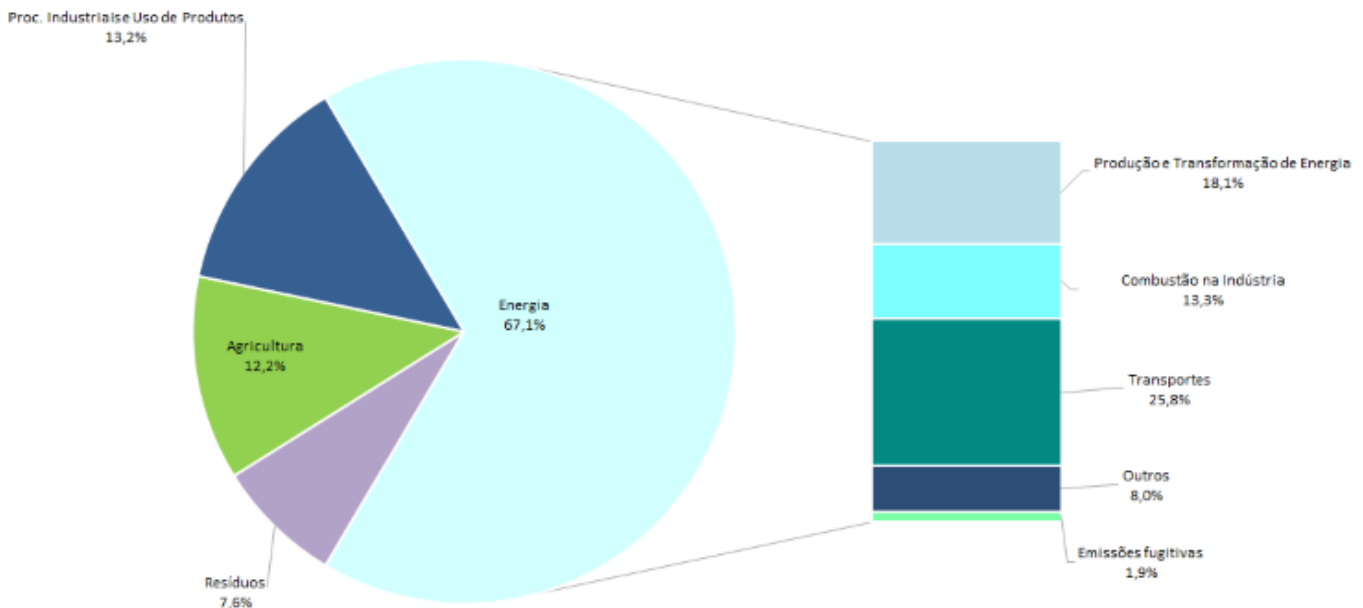


Figura 11: Representação gráfica da percentagem de emissões de CO₂ em Portugal 2020 por setores [34].

O CO₂ é um gás incolor e inodoro presente na atmosfera terrestre em quantidades naturais. É produzido por processos biológicos, como a respiração de humanos e animais, bem como por processos de combustão, como queima de combustíveis fósseis. Enquanto o CO₂ em si não é considerado tóxico em concentrações normais, a sua concentração tem aumentado muito, sendo o principal gás dos gases de efeito estufa, tendo assim um papel significativo na

QAI e pode ter impactos importantes na saúde e no bem-estar das pessoas que ocupam espaços fechados [41].

Para garantir uma boa Qualidade do Ar Interior, é essencial monitorizar e controlar os níveis de dióxido de carbono, bem como implementar medidas adequadas de ventilação e circulação de ar, tais como instalar para ventilação mecânica, a abertura frequente de janelas e o uso de um purificador de ar [42].

Análises COVT, CO₂, CO, O₃

A análise de COVT, CO₂, CO, O₃ O *Graywolf – Direct Sense IAQ* usa uma combinação de sensores e tecnologias para medir os vários parâmetros que afetam a Qualidade do Ar Interior. Para a medição dos COVT, os sensores utilizam tecnologias como a deteção fotoquímica (PID) que é baseada em reações químicas que são iniciadas pela absorção de luz, na qual uma amostra de ar é aspirada e exposta à luz UV (ultravioleta) de uma saída específica do aparelho que excita as moléculas de COVT presentes na amostra de ar. As moléculas ficam eletricamente carregadas e são ionizadas, com uma energia de ionização menor ou igual à da saída da lâmpada UV. Como resultado, os iões produzem uma corrente elétrica proporcional à concentração de COVT e são medidos pelo detetor, **Figura 12** [43].

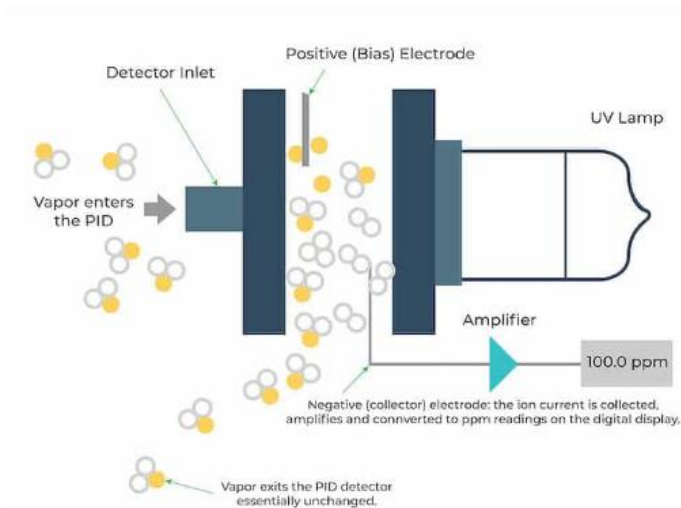


Figura 12: Deteção fotoquímica do Graywolf – Direct Sense [43].

Para detetar gases, como o dióxido de carbono (CO₂) é utilizada a tecnologia NDIR - Espectroscopia de infravermelhos não dispersivo, em que os sensores funcionam utilizando uma lâmpada infravermelha (IV) para direcionar ondas de luz através de um tubo cheio de ar. Este ar move-se em direção a um filtro ótico na frente de um detetor de luz infravermelha. O detetor de luz infravermelha mede a quantidade de luz infravermelha que passa pelo filtro

ótico. À medida que a luz infravermelha passa através do tubo de amostra de ar, as moléculas de CO_2 absorvem a banda específica da luz infravermelha, deixando passar outros comprimentos de onda de luz. Na extremidade do detetor, a luz restante atinge um filtro ótico que absorve todos os comprimentos de onda da luz, exceto o comprimento de onda absorvido pelas moléculas de CO_2 no tubo de amostra, **Figura 13** [44].

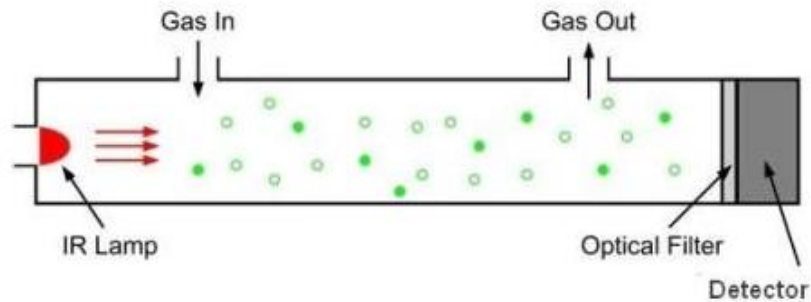


Figura 13: NDIR - Espectroscopia de infravermelhos [44].

Para a medição do monóxido de carbono (CO), e ozono (O_3), é utilizado um detetor eletroquímico que, diferentemente do detetor dos COVT que opera por meio de reações químicas que produzem uma corrente elétrica proporcional à concentração do gás e funcionam por meio de uma célula sensor contendo elétrodos [40].

Quando o gás medido entra em contato com o elétrodo de trabalho, ocorre uma reação de oxidação, que liberta eletrões. Esses eletrões são conduzidos através de um circuito elétrico para o “counter” elétrodo, o que gera uma corrente elétrica proporcional à concentração de monóxido de carbono. O sinal de saída é convertido numa leitura que indica a presença do gás, já o elétrodo de referência desempenha um papel crucial no funcionamento do dispositivo, sendo a sua função principal fornecer um potencial elétrico constante e estável em relação ao ambiente ao redor ao manter um potencial constante. O elétrodo de referência ajuda ainda a prevenir desvios ou variações indesejadas no sinal elétrico que podem ocorrer devido a mudanças nas condições ambientais, **Figura 14** [41].

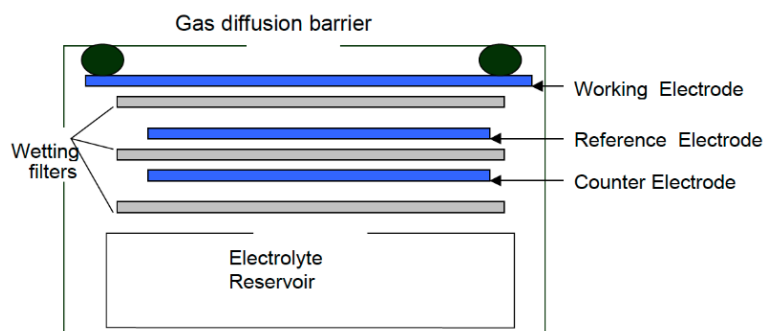


Figura 14: Princípio de funcionamento do sensor eletroquímico [65].

6.3.1.6. Análise do Fluxo de Ar

O medidor de fluxo de ar é um dispositivo utilizado para medir e controlar o fluxo de ar. O fluxo de ar é um parâmetro muito importante para manter a qualidade do ar e a integridade de um ambiente controlado, especialmente em Salas Limpas onde partículas e outros contaminantes devem ser reduzidos ao máximo [22]. Essa tecnologia é essencial para garantir que o ar seja filtrado e distribuído adequadamente, atendendo às necessidades específicas de cada tipo de sala e ambiente. Neste estágio foi utilizado o *Balometer* DBM610 conforme mostrado na **Figura 15** [48].



Figura 15: Balometer de corpo inteiro e display do mesmo desligado e ligado.

A área de abertura do *Balometer* pela qual o ar passa e também sai é conhecida e é uma parte crítica da equação de cálculo do fluxo de ar. A área da abertura e saída é inserida no instrumento ou no dispositivo de medição, permitindo que o instrumento calcule o fluxo de ar com base na velocidade do ar medida, **Figura 16** [48].



Figura 16: Área de abertura do Balometer, superior e inferior respetivamente.

O princípio de medição do *Balometer* é baseado na medição do fluxo de ar por meio da diferença de pressão criada por uma abertura/furos específica do instrumento, **Figura 17**. As

medições são realizadas na grelha do *Balometer* que está conectada em 6 pontos do *Balometer*, com 12 tubos com 4 furos em cada o que perfaz 48 pontos de medições, um corpo central, 2 conectores de pressão e buracos roscados [48].



Figura 17: Grelha do Balometer e respetivos elementos.

Para medir a pressão estática e a pressão total no ponto de medição são utilizados sensores. O tubo de metal mede a temperatura do ar que é insuflado dentro da sala, **Figura 18** [48].

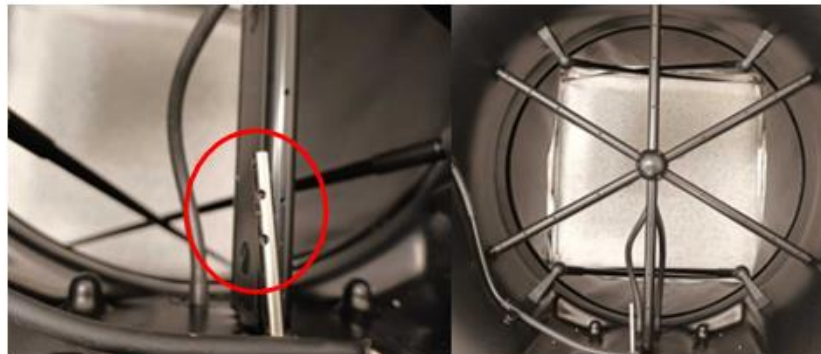


Figura 18: Tubo de metal com abertura.

6.3.1.7. Análise da Temperatura, Humidade Relativa e Pressão

Para a QAI o aparelho comumente utilizado para medir a temperatura e a humidade relativa é o *Graywolf Indoor Air Quality Meters*, no qual são utilizados sensores capacitivos ou de resistência que são sensores que detetam as mudanças nas propriedades elétricas dos materiais em resposta às variações na humidade e de temperatura [49].

O aparelho multifunções KIMO AMI 310 é o mais utilizado para medições de temperatura, humidade relativa em Salas Limpas embora o aparelho da QAI também possa desempenhar esse papel, o princípio deste aparelho para medir a temperatura é a tecnologia dos termopares, a velocidade do ar por fio quente (para medir o fluxo do ar caso não seja possível

utilizar o *Balometer*) é feita através de um anemómetro, a humidade relativa através de um higrómetro, e pressão diferencial por um manómetro [49][50].

- 1. Medição da Humidade Relativa (Higrómetro):** Um higrómetro geralmente utiliza um material higroscópico que absorve ou libera água com base na humidade do ar circundante. Isso causa uma mudança na propriedade física ou elétrica do material, que pode ser medida e correlacionada com a humidade relativa [50].
- 2. Medição de Velocidade do Ar (Anemómetro):** A tecnologia de fio quente é baseada na variação da resistência elétrica de um fio aquecido quando o ar flui sobre ele. Aumentos ou diminuições na velocidade do ar afetam o resfriamento do fio quente e, conseqüentemente, sua resistência elétrica. Ao medir essa variação, a velocidade do ar pode ser determinada [50].

6.3.2. Microbiológicos

Os microrganismos têm um impacto significativo na QAI, influenciando a saúde e o bem-estar das pessoas que ocupam esses espaços. A adoção de práticas de higiene, manutenção e controle ambiental adequadas é fundamental para minimizar os riscos associados à presença de microrganismos no ar interior e impedir que haja condições de crescimento desses microrganismos nesses espaços [51].

6.3.2.1. Ar interior: Bactérias e Fungos

Relativamente ao papel das bactérias e fungos na QAI Interior estes microrganismos são cruciais em ambientes internos no que diz respeito à decomposição e a ciclagem de nutrientes, onde a circulação do ar pode ser limitada. A formação de biofilmes bacterianos em superfícies húmidas, como dutos de ventilação e tubulações, pode ter um impacto negativo na qualidade do ar, à medida que esses biofilmes podem libertar microrganismos que comprometem a limpeza do ambiente e podem contribuir para a contaminação do ar, sobretudo se forem patogénicos [51].

A emissão de COVT que algumas bactérias podem produzir pode contribuir para o desenvolvimento de odores desagradáveis e, em casos mais extremos, podem até influenciar a saúde das pessoas que partilham esse espaço. O crescimento excessivo de bactérias e fungos pode resultar na liberação de alérgenos, esporos e substâncias irritantes no ar, podendo desencadear reações alérgicas, agravar condições respiratórias preexistentes, como asma, e aumentar a suscetibilidade a infeções. Adicionalmente, o crescimento de fungos, especialmente em ambientes húmidos, pode conduzir à formação de mofo em superfícies, desencadeando não apenas problemas de qualidade do ar devido à liberação de esporos, mas também causando danos estruturais e estéticos em materiais de construção e objetos presentes no ambiente [52].

6.3.2.2. Análise Microbiológica

A parte microbiológica deste estágio foi feita através da utilização de um dispositivo chamado amostrador de ar, *VWR SAS Super DUO 360*, **Figura 19**. Um amostrador de ar é um dispositivo projetado para coletar amostras de ar de um ambiente específico para análise posterior.



Figura 19: Amostrador de ar VWR SAS Super DUO 360.

O amostrador de ar utilizado neste estágio fez coletas em diversos espaços em que aspirava cerca de 200L de ar por minuto diretamente em placas com meios de cultura (**Figura 20**) para cultivar e enumerar microrganismos em uma amostra. Neste caso foram placas de *Plate Count Agar* (PCA) e *Malt Extract Agar* (MEA), na qual a primeira é para cultivo de bactérias e a segunda para o cultivo de fungos, **Figura 20**.



Figura 20: Meios de cultura PCA e MEA respetivamente.

O princípio deste amostrador de ar é baseado na qual o ar é aspirado a uma taxa fixa, neste caso 200L de ar por minuto, através de uma tampa composta por uma série de pequenos orifícios, **Figura 21**.

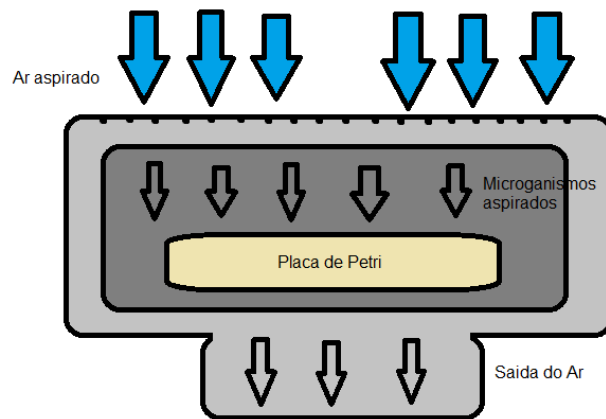


Figura 21: Amostrador de ar com os orifícios à vista.

O fluxo de ar laminar ou turbulento proveniente dos difusores de ar é direcionado/aspirado para a superfície do ágar de uma placa de petri de PCA e MEA já que o aparelho possui duas cabeças, uma para cada meio compatível com o teste microbiológico que irá ser realizado. Quando o ciclo de amostragem predefinido estiver concluído, a tampa é removida e placa de petri é retirada e armazenada em um ambiente frio, posteriormente no mesmo dia as placas são transportadas para um laboratório acreditado para a contagem de colónias [53].

7. MATERIAL E PROCEDIMENTOS

Durante o período da componente prática do estágio, procedeu-se à realização de diversos ensaios nos quais foram medidos parâmetros para avaliar a Qualidade do Ar Interior (QAI) e classificar as Salas Limpas (SL), que foram resumidamente apresentados nesta secção, bem como os equipamentos usados.

7.1. Equipamentos

A monitorização da QAI e a classificação de SL foram realizadas através da medição de diversos parâmetros e com recurso a diversos equipamentos e procedimentos que se condensam na tabela abaixo, **Tabela 6**.

No **Anexo D** encontram-se representados os equipamentos utilizados nos ensaios da QAI e Salas Limpas.

Tabela 6 – Princípio de funcionamento dos equipamentos de QAI e Salas Limpas

Parâmetros	Equipamento (Nome e Modelo)	Método de funcionamento	Ensaio	Método	Incerteza na medição
Temperatura	Graywolf – Direct Sense IAQ	Pt100	QAI	ISO 7730	± 0,3 °C
Humidade Relativa		Capacitivo			± 3,2 %HR
CO		Eletroquímico		Portaria 138-G/2021	± 2,8 ppm
CO ₂		NDIR - Espectroscopia de infravermelhos não dispersivo		Portaria 138-G/2021	± 104 ppm
COVT		PID – Detetor de Foto Ionização		Portaria 138-G/2021	± 0,07 ppm
PM _{2.5} PM ₁₀	Lighthouse Handheld Modelo 3016-IAQ	Laser dígodo		Portaria 138-G/2021	± 11,8 %
Formaldeído	Riken Keiki – FP 31	Fotometria Fotoelétrica		Portaria 138-G/2021	± 0,01 ppm
Pressões Diferenciais	TSI – 9565-P	Pressão exercida sobre a membrana		Portaria 138-G/2021	± 0,96 ppm

PM_{0.3} PM_{0.5}	Lighthouse Solair 3100	Laser diódo	Salas Limpas	ISO 14644-1/2015	± 5,0 %
Temperatura	Kimo AMI 310	Pt100		ISO 14644-3/2019	± 0,3 °C
Humidade Relativa		Capacitivo		ISO 14644-3/2019	± 1,50 %HR
Pressões Diferenciais	TSI – 9565-P	Pressão exercida sobre a membrana		ISO 14644-3/2019	± 0,96 ppm
Fluxo de Ar	Balometer DB610	Diferenciais de pressão criada por uma abertura específica do instrumento		ISO 14644-3/2019	± 10 m ³ /h
Microrganismos	VWR SAS Super DUO 360	Apenas aspiração do ar	QAI	Portaria 138-G/2021	-

7.2. Procedimentos

Os procedimentos utilizados para a realização dos ensaios no laboratório, foram feitos, através dos métodos publicados nas últimas versões de normas nacionais e internacionais, ou em textos científicos relevantes publicados por especialistas ou organismos técnicos de reputação reconhecida. Nomeadamente a ISO 14644-1/2015, ISO 14644-3/2019 para as Salas Limpas e a Portaria 138-G/2021 para a QAI [9] [14] [53].

7.2.1. QAI e Salas Limpas

De uma forma geral para a medição dos diversos parâmetros da QAI: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ozono (O₃), compostos orgânicos voláteis totais (COVT), partículas em suspensão com diâmetro inferior a 2,5 µm de PM_{2.5}, partículas em suspensão com diâmetro inferior a 10 µm PM₁₀, formaldeídos, temperatura e humidade relativa e para os parâmetros microbiológicos e das Salas Limpas as PM_{0.3}, PM_{0.5}, temperatura, humidade relativa e fluxo de ar, os equipamentos devem ser posicionados próximos de uma corrente de ar proveniente do difusor de ar de forma que o ar incida ou seja aspirado pelos aparelhos de modo a conseguirem fazer as medições corretamente da Sala Limpa, **Figura 22**. Nas Salas Limpas com fluxo de ar não unidirecional/fluxo turbulento, como acontece com salas de recobro, a posição dos aparelhos de medição deve variar mais já que os difusores se encontram espalhados ao redor da sala, como mostra a **Figura 23**.

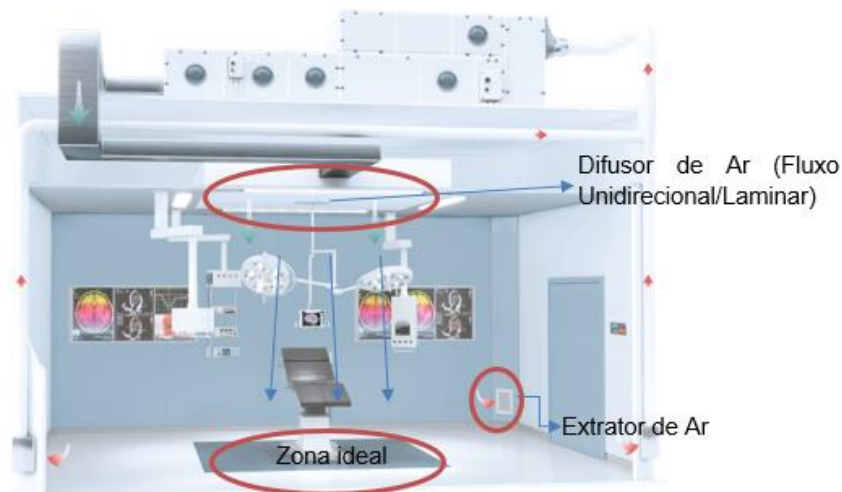


Figura 22: Sala Limpa (Sala de Cirurgia) (Autoria própria).

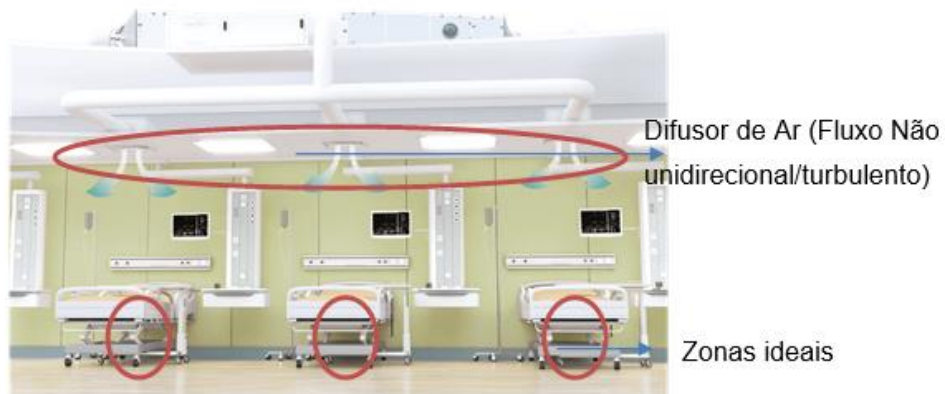


Figura 23: Sala Limpa (Recobro) (Autoria própria).

Por fim para a medição das pressões diferenciais com o KIMO AMI 310, são colocados dois tubos de plásticos no aparelho um no lado positivo e outro no lado negativo com o lado negativo na parte de fora da Sala de Processo como exemplificado na **Figura 24**. Por exemplo, Sala de Cirurgia/Sala de Processo (+) /Corredor (-). E a diferença de pressão entre o exterior da sala de processo e a sala do processo gera o valor de pressão medido no aparelho.



Figura 24: Medição das pressões diferenciais.

A contagem de partículas na sala é feita em diferentes pontos da sala e os locais seleccionados para realizar as amostragens devem estar distribuídos pela zona correspondente, de modo a serem representativos de todo o espaço. Nas Salas Limpas o número de pontos deve ser seguido com base em áreas pré-definidas vide **Tabela B5 do Anexo B**. Já na QAI os pontos de amostragem seguem a seguinte fórmula do Despacho 1618/2022 [54].

Equação 1 – Equação do número mínimo de amostras em cada zona

$$N_i = 0,15 \times \sqrt{A_i} \quad (1)$$

Onde:

N_i — n.º de pontos na zona i ($N_i \geq 1$);

A_i — área ocupada da zona i , em m^2 .

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo, o discente apresenta os resultados e discute as repercussões dos mesmos.

8.1. Locais para monitorização da Qualidade do Ar Interior

Os ensaios a vários parâmetros que garantam a Qualidade do Ar Interior foram realizados ao longo do estágio, em 32 Salas Limpas, 11 serviços hospitalares diferentes, e 3 ambientes hospitalares diferente, no âmbito da atividade normal do Laboratório de Ensaios da ATM, conforme se identifica na **Tabela 7**.

Tabela 7 – Locais onde o discente procedeu a medição de parâmetros que garantem a QAI, incluindo os serviços nos respetivos locais.

Serviço	Quantidade	Locais
Bloco Operatório	13	Salas de Cirurgia
	3	Recobros, UCPA
Gastroenterologia	3	Salas
UCA (Unidade de Cirurgia Ambulatório)	3	Salas de Cirurgia
Oftalmologia	1	Sala
Angiografia	1	Sala
	1	Recobro
UCI (Unidades de Cuidados Intensivos)	1	Quarto de Isolamento
UCICA (Unidade de Cuidados Intensivos de Crianças e Adolescentes)	1	Unidade
Dermatologia	1	Sala
AP (Apoio Permanente)	1	Sala de Cirurgia
	1	Quarto de Isolamento
Maxilo Facial	1	Sala
Bloco de Partos	1	UCERN (Unidade de Cuidados Especiais ao Recém-Nascido)

8.1.1. Características dos locais analisados

Os locais analisados são identificados como Salas Limpas, com características especiais, dotadas de tecnologia própria que permitem que dentro de cada uma dessas salas decorra um determinado processo com o máximo de segurança e conforto, assegurados pela monitorização de parâmetros físico-químicos e microbiológicos adequados. Na sua esmagadora maioria, estas salas são dotadas de equipamentos de ventilação e climatização

próprios, tal como sistemas de filtração de alta eficiência (HEPA). Devem também ter ambientes controlados do ponto de vista térmico, de humidade e pressão [18].

Nas salas analisadas, o fluxo de ar ao passar pelos filtros HEPA é projetado sempre na vertical, de cima para baixo, a sair dos tetos. A extração de ar das salas processa-se pelas paredes laterais, perto do solo [18].

Consideram-se salas de *fluxo unidirecional* de ar, as salas em que o caudal de ar de insuflação sai dos tetos, de uma caixa de ar identificada como *pleno* de teto, e o ar incide diretamente na zona do Processo. Consideram-se salas de *fluxo não unidirecional* de ar, as salas em que o caudal de ar de insuflação sai dos tetos, de várias caixas de ar identificadas como difusores de teto, mas em que o ar não incide diretamente sobre a zona do Processo [18][55].

Nas salas de *fluxo unidirecional* o expectável é que o seu desempenho seja melhor do que das salas de *fluxo não unidirecional* traduzindo-se numa melhor QAI e maior limpeza do ar interior (menor classificação ISO) [55].

As Salas Limpas onde foram efetuados os ensaios, como explicado anteriormente (vide **Capítulo 6.2.2**) diferem de acordo com o seu ambiente. Por exemplo, as salas de cirurgia são os ambientes mais críticos, logo são os lugares onde os parâmetros da QAI das Salas Limpas são mais relevantes de terem uma monitorização e controlo mais apertado do que as salas onde se fazem apenas exames, como nos locais designados por “Salas” na **Tabela 7**.

Os locais analisados foram todos disponibilizados pelos clientes do LabEns no estado de “*em repouso*”, conforme conceito ISO 14644, anteriormente explicado (vide **Capítulo 6.2.2**).

8.2. Ensaio monitorização da QAI e Salas Limpas

Foram realizados os seguintes ensaios e analisados os respetivos parâmetros, conforme a **Tabela 8**.

Tabela 8 – Ensaio e parâmetros realizados para monitorização da QAI e Salas Limpas

Ensaio	Parâmetros	Unidades	Método	
QAI	Físico-químicos	Temperatura	°C	ISO 7730
		Humidade Relativa	%HR	
	Físico-químicos	PM ₁₀	µg/m ³	Portaria 138-G/2021
		PM _{2.5}	µg/m ³	
		CO ₂	ppm	
		COVT	mg/m ³	
		CH ₂ O	ppm	
		Microbiológicos	Fungos a 22 °C	
Bactérias a 37 °C	UFC/m ³			
Salas Limpas	Físico-químicos	PM _{0.3} (Ensaio de Classificação)	Partículas/m ³	ISO 14644-1/2015
		PM _{0.5} (Ensaio de Classificação)	Partículas/m ³	
	Físico-químicos	Temperatura	°C	ISO 14644-3/2019
		Humidade Relativa	%HR	
		Renovações de ar/hora	Ren/h	
		Diferenciais de Pressão	Pa	

No total, foram realizados 64 ensaios, 32 de QAI e 32 de Salas Limpas, de que resultaram relatórios para cada ambiente hospitalar tanto de QAI como de Salas Limpas, e que foram entregues aos clientes do LabEns com as respetivas conclusões e possibilidades de melhoria.

8.3. Correlações dos ensaios da QAI

Em relação a QAI foram realizados ensaios, tanto físico-químicos como microbiológicos, cujas médias dos resultados se encontram resumidos na **Tabela 9**. Em termos de resultados individuais, foram resumidos na **Tabela A1**, no **Anexo A**, por serem muito extensos. Os ensaios da QAI foram feitos em todos os locais e serviços descritos na **Tabela 7**. No global, a maioria dos resultados físico-químicos obtidos encontra-se dentro dos limites estabelecidos na Portaria 138-G/2021, excetuando-se a humidade relativa das salas 26 e 27, da gastroenterologia do H2, e os parâmetros químicos da concentração de formaldeído e da concentração de COVT, na sala de exames da dermatologia do H3. Os desvios embora pequenos em relação aos limites legislados, devem ser alvo de intervenção e melhoria.

Em relação aos parâmetros do QAI procedeu-se às médias gerais das 32 Salas Limpas e seus parâmetros físico-químicos, e também à média desses parâmetros nas salas com o fluxo de ar unidirecional e não unidirecional. De acordo com a **Tabela 9**, o valor da média geral da concentração de partículas PM₁₀ foi de 0,57 µg/m³ e das PM_{2.5} foi de 0,86 µg/m³, já a concentração média de CO₂ foi de 241,03 ppm, de CO foi de 1,18 ppm, de CH₂O foi 0,02 ppm e de COVT foi 0,61 mg/m³, para uma temperatura média de 22 °C, e uma percentagem de humidade relativa de 59,6%. Todos os parâmetros apresentaram valores médios dentro do intervalo aceite legislado.

Tabela 9 – Média e desvio-padrão dos parâmetros da QAI e comparação com os fluxos da sala.

Parâmetros	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CH ₂ O (ppm)	COVT (mg/m ³)	T °C	%HR	Tipo de Fluxo
Média Geral	0,57	0,86	241,0	1,18	0,029	0,615	22,2	59,6	
Média	0,78	1,34	240,6	1,02	0,025	0,619	22,4	60,3	Fluxo não Unidirecional
Desvio-Padrão	1,90	2,75	160,8	0,49	0,016	0,141	1,4	8,1	
Média	0,26	0,16	241,5	1,41	0,036	0,611	22,0	58,5	Fluxo Unidirecional
Desvio-Padrão	0,03	0,46	151,8	0,72	0,026	0,209	1,9	4,6	

Em relação ao desvio-padrão observa-se que nas salas com fluxo não unidirecional há quatro parâmetros que têm valores acima das de fluxo unidirecional que correspondem às PM₁₀, PM_{2.5}, CO₂, e %HR, e os outros parâmetros que não estão acima, estão muito próximos das de fluxo unidirecional, ou seja, acontece o expectável já que o tipo de fluxo unidirecional está

associado a uma maior limpeza das Salas Limpas, o que nos permite inferir que existe uma relação entre os parâmetros da QAI com o tipo de fluxo dentro da Sala Limpa.

No que diz respeito às médias das salas com fluxo não unidirecional podemos observar que a concentração de partículas PM_{10} e $PM_{2,5}$ é maior nestas salas, bem como a concentração de COVT, a temperatura e a humidade relativa. As exceções são para os valores de CO_2 , CO e CH_2O .

Em relação a concentração de partículas PM_{10} e $PM_{2,5}$ é fácil explicar que há uma maior quantidade de partículas nas de fluxo não unidirecional devido ao tipo de fluxo, e para os restantes parâmetros supostamente, também deviam estar mais altos por causa do tipo de fluxo fato que não ocorre, não obstante, os valores estão bastante próximos das salas de fluxo unidirecional e por isso o motivo de serem exceções pode ser o erro humano já que não há nenhum valor muito afastado uns dos outros, e por isso seria aconselhável refazer as medições para verificar se a situação continuava.

Os resultados dos ensaios microbiológicos também se encontram dentro dos limites estabelecidos já que o valor mais alto de cada local analisado nunca ultrapassou a quantidade de unidades formadoras de colónias (UFC) de bactérias do exterior com um incremento de 350 UFC (como referido na Portaria 138-G/2021), e no caso dos fungos é sempre inferior ao exterior (como referido na Portaria 138-G/2021), mostrado na **Tabela A3** do **Anexo A**.

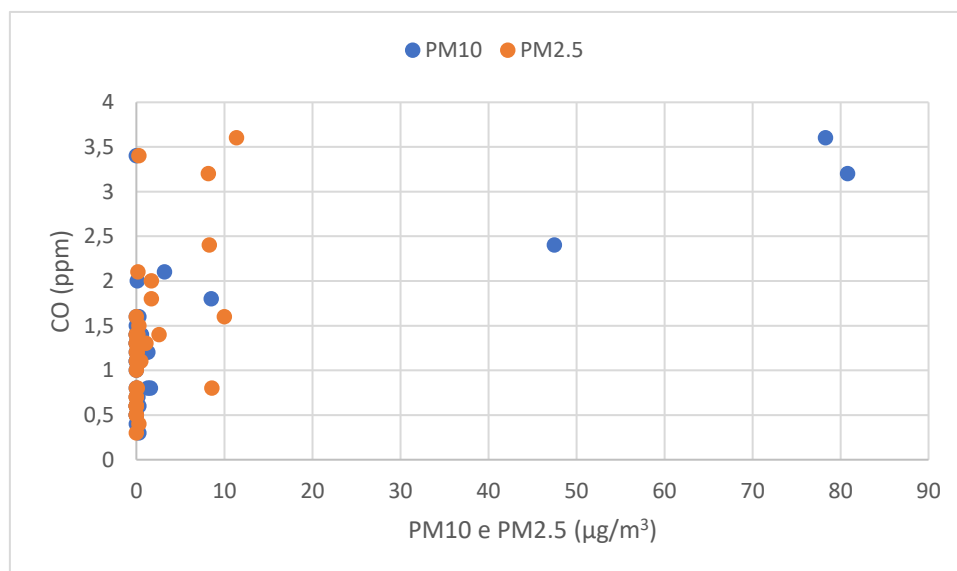
Tabela 10 – Quantidade, tipo de Salas Limpas e tipo de fluxo

Salas Limpas	Tipo de Fluxo	Quantidade
Recobros, UCPA	Não Unidirecional	4
Salas de Cirurgia	Não Unidirecional	6
	Unidirecional	11
Quartos de Isolamento	Não Unidirecional	1
	Unidirecional	1
UCERN	Não Unidirecional	1
Unidade	Não Unidirecional	1
Salas/Salas de exames	Não Unidirecional	7

A maioria das Salas Limpas analisadas com o fluxo unidirecional de ar foram salas de cirurgias, como indicado na **Tabela 10**, que requerem um nível de ar mais puro que outras salas, como as de exames médicos, embora ambas sejam classificadas como Salas Limpas.

8.3.2. Concentração de partículas (PM₁₀ e PM_{2,5} µm) versus a concentração de CO

Verificou-se se havia alguma relação entre a concentração de partículas em suspensão no ar e a concentração de CO presente nas salas, já que havendo, poderia indicar que existe uma acumulação tanto das partículas, com a concentração de CO.



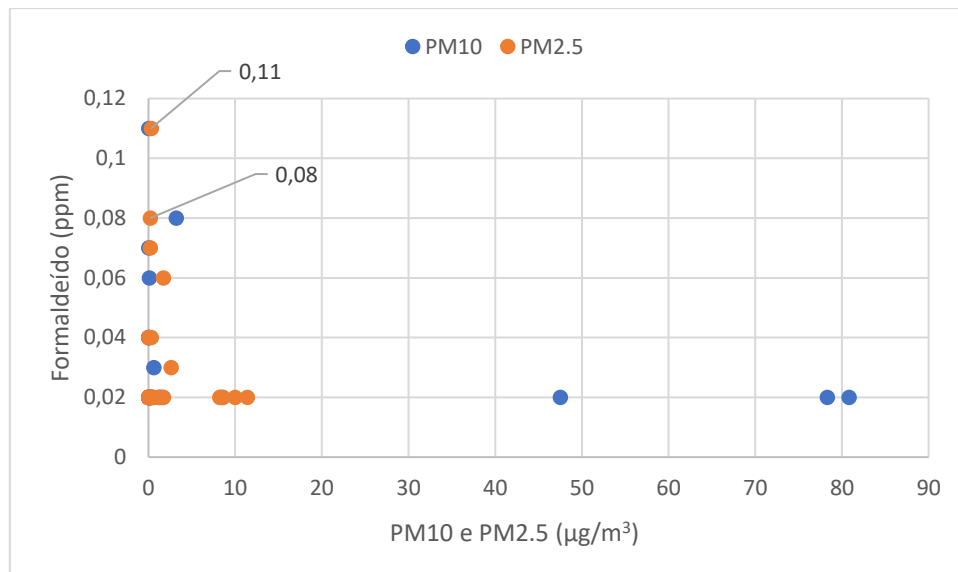


Figura 27: Concentração de partículas PM10 e PM 2,5 µm (µg/m³) versus a concentração de Formaldeído (ppm).

Na **Figura 27**, encontra-se representada a concentração de formaldeído em função da concentração de partículas em suspensão no ar. Igualmente, estão representados os valores de concentração de formaldeído, fora dos limites da legislação, que neste caso se encontram na sala de cirurgia do serviço de dermatologia, em que os valores são de 0,11 ppm sendo o limite 0,08 ppm.

Um dos motivos para estes resultados, pode ser a recente limpeza da sala em que os aerossóis dos produtos de limpeza ainda permanecem no ar aquando da análise. Nesta **Figura 27**, parece que há uma relação (embora muito ténue) entre a concentração de partículas de 2,5 e de 10 µm e a concentração de formaldeído de 0,02 ppm. No seguimento desta observação, verifica-se ainda que para partículas maiores de 10 µm, a concentrações de 80 µg/m³, corresponde também à concentração de formaldeído mais baixa de 0,02 ppm. Estes valores “*outliers*” podem ser explicados também com base em procedimentos de higienização que originem partículas e que têm na sua composição formaldeído [27].

8.3.4 Concentração de partículas (PM₁₀ e PM_{2,5} µm) versus a concentração de compostos orgânicos voláteis totais (COVT)

Uma vez que os COVT são fontes de partículas, procedeu-se à verificação de uma eventual correlação entre a concentração de COVT e a concentração de partículas suspensas no ar, já que havendo essa relação, poderia ser resultado de eventuais atividades de limpeza recentes na sala em que se geram partículas em suspensão no ar (como no caso anterior), o que poderia causar uma acumulação de partículas associado a um aumento da concentração de COVT devido à composição dos materiais de limpeza.

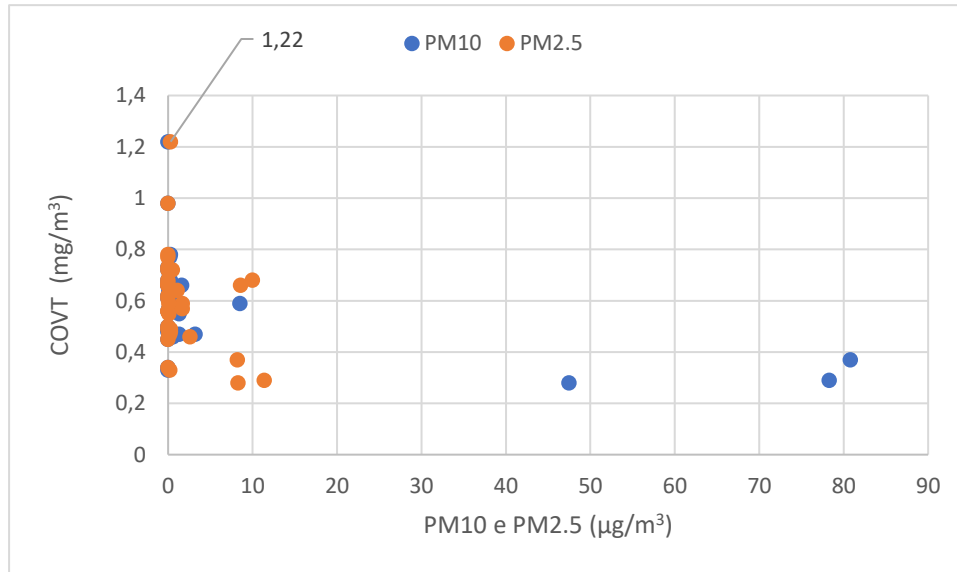


Figura 28: Concentração de partículas PM10 e PM 2,5 µm (µg/m³) versus COVT.

Na **Figura 28**, observa-se que os valores da concentração dos compostos orgânicos voláteis totais estão quase todos em conformidade com a legislação, mas ainda assim, encontram-se valores de COVT fora dos limites. Estes valores também se encontram na sala de cirurgia do serviço de dermatologia em que os valores são de 1,22 mg/m³, sendo o limite máximo permitido cerca de 1,20 mg/m³.

Verifica-se que há uma maior concentração de partículas de 2,5 e 10 µm para uma concentração de COVT no intervalo de 0,2 a 0,7 ppm. Já as partículas de maiores dimensões de 10 µm, encontram-se em maior concentração nas gamas de concentração entre 0,3 e 0,4 ppm de COVT. Normalmente quando a concentração de formaldeído se encontra mais elevada, os compostos orgânicos voláteis totais também costumam ter valores mais elevados, já que os dois são frequentemente constituintes de produtos de limpeza, ou higienização [33].

8.3.5. Concentração de partículas (PM₁₀ e PM_{2,5} µm) versus Temperatura e Humidade Relativa

Normalmente o aumento de temperatura não está associado ao aumento das concentrações de partículas no ar. No entanto, pode-se associar o aumento da humidade relativa ao aumento da concentração de partículas no ar, sobretudo se posteriormente for verificado que essas partículas correspondem a microrganismos, com base nos resultados das análises microbiológicas. E por isso, foi verificada uma eventual correlação entre a concentração das partículas em suspensão no ar e a temperatura e humidade relativa.

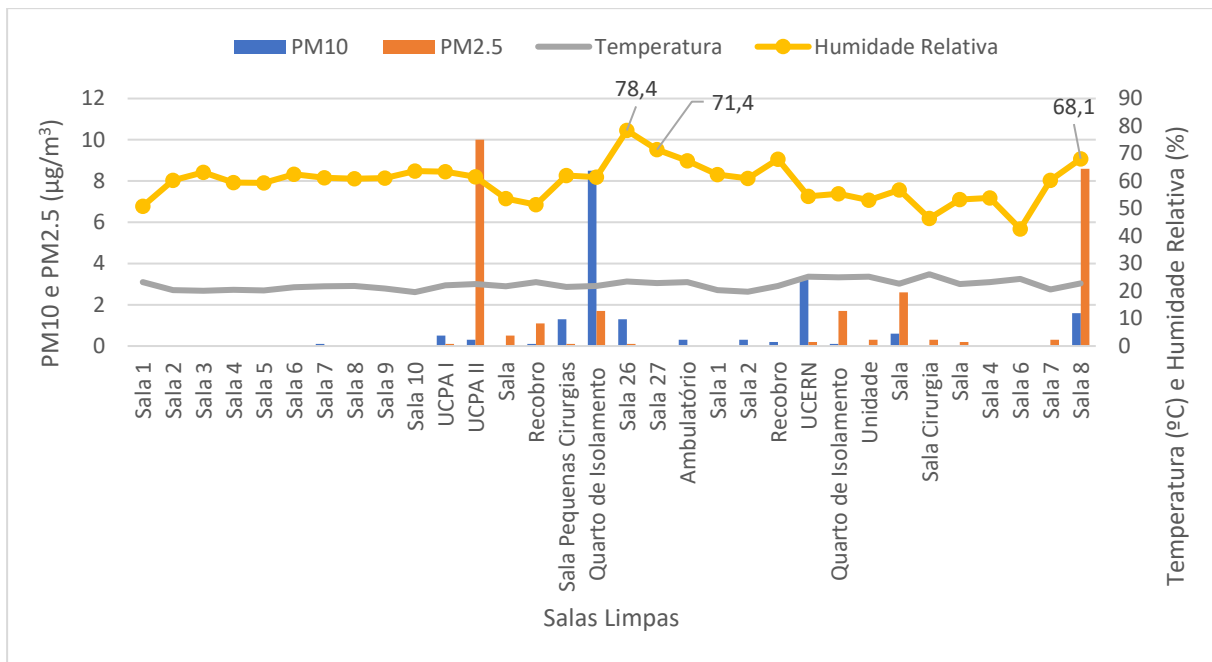


Figura 29: Concentração de partículas PM₁₀ e PM_{2,5} µm (µg/m³) versus Temperatura (°C) e Humidade Relativa (%).

A **Figura 29**, mostra que as temperaturas se mantêm aproximadamente constante ao longo das várias salas e por isso a sua influência é mínima no que diz respeito à concentração de partículas suspensas nas salas e vice-versa. O mesmo se verifica para a humidade relativa.

Verifica-se também que, a sala UCPA II, os dois quartos de isolamento, a UCERN e a sala 8, apresentam altas concentrações de partículas de 2,5 e 10 µm, apesar de serem valores aceitáveis dentro da legislação em vigor. A sala UCPA II tem uma concentração relativamente elevada em partículas 2,5 µm, enquanto o quarto de isolamento e o UCERN têm uma concentração relativamente mais elevada em partículas 10 µm. Esta distinção pode dever-se ao tipo de fluxo das salas que são ambos do tipo não unidirecional.

Relativamente à humidade relativa, as salas no geral encontram-se com valores dentro dos aceites pela legislação, excetuando-se as salas 26 e 27 do H3, da sala de cirurgia do serviço de dermatologia, com dois picos que dizem respeito aos valores de 78,4 % e 71,4 % (limite máximo de 70%), como mostrado na **Figura 29** e **Figura 30**. Também se registou outro pico da humidade relativa, como é exemplo a sala 8 do H3 da UCA, que possui uma maior quantidade de partículas na sala e uma humidade relativa mais alta. No entanto, não se regista correlação observável entre os parâmetros.

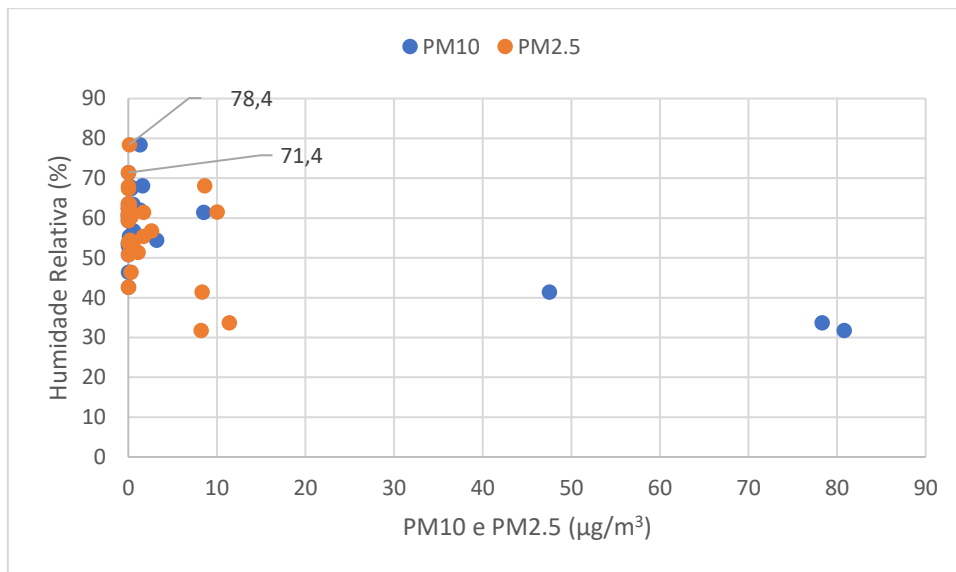


Figura 30: Concentração de partículas PM₁₀ e PM_{2,5} µm (µg/m³) versus Humidade Relativa.

Na **Figura 30**, registou-se uma concentração de partículas de 10 µm de 50 e 80 µg/m³ para valor de humidade relativa de cerca de 40% e 31%, respetivamente. Uma das razões para estas observações pode ser o erro humano na medição, ou mesmo a posicionamento do equipamento em zonas inadequadas, tal como perto de equipamentos aquecidos ou arrefecidos e ainda mau funcionamento do sistema de climatização da sala. Por outro lado, pode ser indicativo de uma possível contaminação microbiana.

8.4. Correlações dos parâmetros medidos nas Salas Limpas

Nos ensaios das Salas Limpas, em algumas salas não foi possível medir os parâmetros, devido a conflitos de horários e disponibilidade, sendo estas as seguintes: a sala de ambulatório do serviço de gastroenterologia do H2, e do H3 não foi possível medir o quarto de isolamento da UCI , a unidade principal da UCICA, a sala de maxilo facial e a UCERN.

De acordo com os dados obtidos e representados na **Tabela A2**, do **Anexo A**, consegue-se observar que todas as salas estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela ISO 14644, e que, grande parte das salas está classificada como ISO 5 e ISO 7, sendo a sala de pequenas cirurgias do serviço de AP do H1, que está classificada como ISO 9 a de ISO mais alta. Considera-se que quanto maior for o número na ISO, maior o número/concentração de contaminantes expectável.

8.4.1. Fluxo não unidirecional de ar *versus* Classificação Salas Limpas

Neste subcapítulo pretendeu-se comparar os tipos de fluxo das salas, sendo eles o fluxo unidirecional ou não unidirecional de ar e a classificação ISO das Salas Limpas juntamente com os valores de temperatura e humidade relativa e verificar se existe alguma correlação entre os parâmetros.

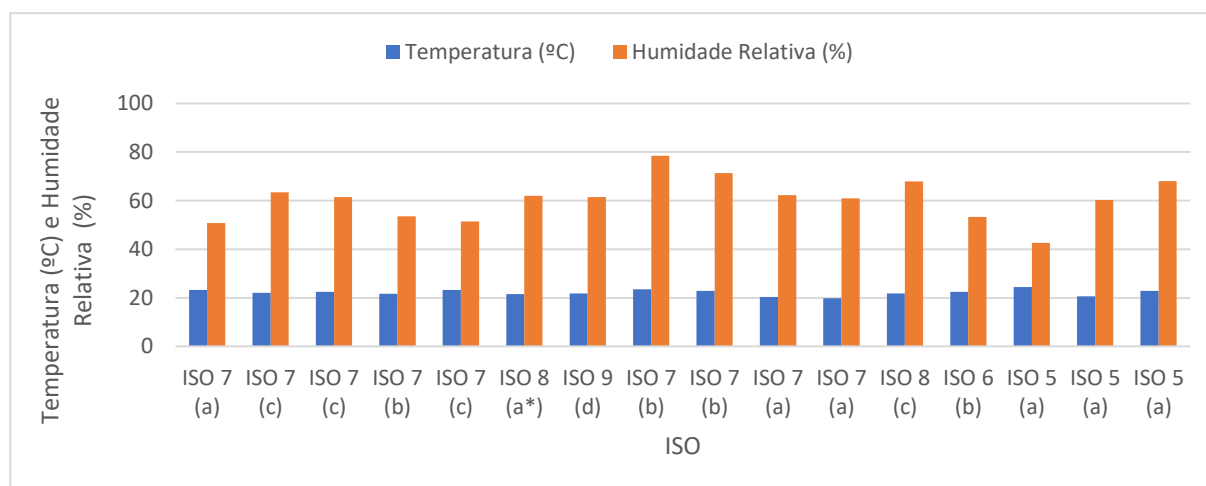


Figura 31: Variação da Temperatura e Humidade Relativa para as várias salas limpas, com a respetiva classificação ISO para fluxo de ar não unidirecional. (a) - corresponde a sala de cirurgia; (a*) - corresponde a sala de pequenas cirurgias; (b) - corresponde a sala de exames; (c) - corresponde a sala de recobro ou UCPA; (d) - corresponde ao quarto de isolamento.

Na **Figura 31** deduz-se que as salas com fluxo não unidirecional estão maioritariamente classificadas como ISO 7 a 9 (em 16), sendo a classificação mais baixa, a ISO 5 e a mais alta ISO 9.

A temperatura nestas salas apresenta valores aproximadamente constantes, ao contrário da humidade relativa já que apresenta uma variação maior, entre os valores como por exemplo, a ISO 7 com valores de 23,5 °C e 78,4 %HR respetivamente e a ISO 5, com 24,4 °C e 42,6 %HR, respetivamente.

Deste modo, a classificação ISO, sendo mais baixa ou mais alta, não garante valores uniformes dos parâmetros de conforto térmico como a temperatura ou humidade relativa já que existe uma variação bastante grande entre no caso da humidade relativa, como se pode observar na **Tabela 11**. Com valores de 22,54 °C de média e 1,40 °C do desvio-padrão para a temperatura, para a humidade relativa já se tem valores de 8,10 % de desvio-padrão e uma média de 60,04 %, para salas de fluxo de ar não unidirecional.

Tabela 11 – Média e desvio-padrão das Salas Limpas e respetivos fluxos

Parâmetros	Fluxo não unidirecional	Fluxo unidirecional	Conforto térmico
Desvio-Padrão	1,40	1,96	T °C
Média	22,54	21,74	
Desvio-Padrão	8,10	4,68	%HR
Média	60,04	58,90	

8.4.2. Fluxo unidirecional de ar *versus* Classificação Salas Limpas

Procedeu-se ao mesmo tratamento para as salas de fluxo unidirecional de ar, para comparar os diferentes tipos de fluxo de ar nas salas e a classificação ISO das Salas Limpas, juntamente com os valores de temperatura e humidade relativa e verificar se existe algum tipo de correlação entre os parâmetros.

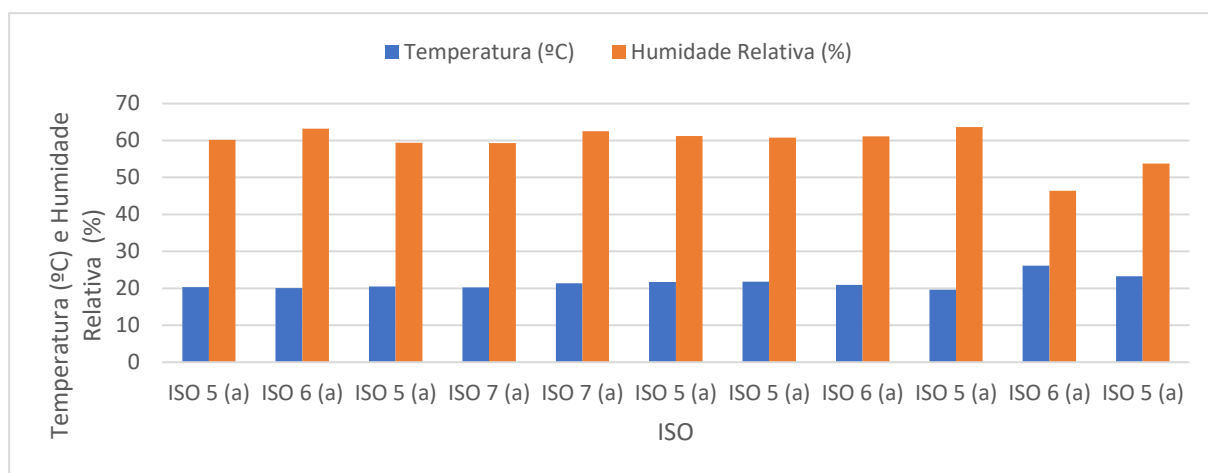


Figura 32: Variação da Temperatura e Humidade Relativa para as várias salas limpas para fluxo de ar unidirecional, com a respetiva classificação ISO. (a) - corresponde a sala de cirurgia; (a*) - corresponde a sala de pequenas cirurgias; (b) - corresponde a sala de exames; (c) - corresponde a sala de recobro ou UCPA; (d) - corresponde ao quarto de isolamento.

Na **Figura 32**, observa-se que as salas com fluxo unidirecional de ar estão maioritariamente classificadas como ISO 5, 6 salas em 11, sendo a classificação mais baixa a ISO 5 e a mais alta, a ISO 7, possuindo uma ISO mais baixa que as salas com fluxo de ar não unidirecional, o que é expectável já que este tipo de fluxo é o mais adequado para ambientes que necessitem de critérios de qualidade de ar mais restritivos.

No que diz respeito à temperatura e humidade relativa observa-se que a humidade relativa mantém valores relativamente mais constantes, comparados com as salas de fluxo de ar não unidirecional. Todos os valores estão dentro dos valores aceites legislados. Na **Tabela 11**, a média é de 21,74 °C e 1,96 °C para a temperatura e respetivo desvio-padrão, para a humidade relativa apresentam-se valores de 58,90 % e 4,68 % de desvio-padrão para salas com fluxo de ar unidirecional.

Mas como a amostra de dados é relativamente pequena não se pode tirar conclusões fidedignas já que seria necessário fazer um estudo com uma quantidade maior de amostras.

Na **Tabela 12**, estão representadas todas as salas em que foram feitos os ensaios de classificação e nela podemos perceber que algumas salas mesmo sendo do mesmo tipo (Cirurgia) e serviço (Bloco Operatório), não têm o mesmo tipo de fluxo de ar o que pode influenciar a classificação final da sala, já que as de fluxo unidirecional têm a tendência de ter uma ISO mais baixa.

Tabela 12 – Salas Limpas, serviço, ISO e tipo de fluxo associado

Sala	Serviço	Tipo de Fluxo	ISO
Sala 1	Bloco Operatório	Não Unidirecional	ISO 7
UCPA I	Bloco Operatório	Não Unidirecional	ISO 7
UCPA II	Bloco Operatório	Não Unidirecional	ISO 7
Sala	Angiografia	Não Unidirecional	ISO 7
Recobro	Angiografia	Não Unidirecional	ISO 7
Sala Pequenas Cirurgias	AP	Não Unidirecional	ISO 8
Quarto de Isolamento	AP	Não Unidirecional	ISO 9
Sala 26	Gastro	Não Unidirecional	ISO 7
Sala 27	Gastro	Não Unidirecional	ISO 7
Sala 1	Bloco Operatório	Não Unidirecional	ISO 7
Sala 2	Bloco Operatório	Não Unidirecional	ISO 7
Recobro	Bloco Operatório	Não Unidirecional	ISO 8
Sala	Oftalmologia	Não Unidirecional	ISO 6
Sala 6	UCA	Não Unidirecional	ISO 5
Sala 7	UCA	Não Unidirecional	ISO 5
Sala 8	UCA	Não Unidirecional	ISO 5
Sala 2	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 5
Sala 3	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 6
Sala 4	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 5
Sala 5	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 7
Sala 6	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 7
Sala 7	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 5
Sala 8	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 5
Sala 9	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 6
Sala 10	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 5
Sala Cirurgia	Dermatologia	Unidirecional	ISO 6
Sala 4	Bloco Operatório	Unidirecional	ISO 5

8.5. Correlações QAI versus Salas Limpas

Os ensaios microbiológicos estão relacionados com os ensaios da QAI de acordo com a Portaria 138G-2021, tanto para fungos como para bactérias. Neste caso, foram contabilizadas, em unidades formadoras de colónias (UFC), a quantidade de bactérias que crescem a 37 °C (potencialmente patogénicas) e fungos que crescem a 22 °C, nas várias Salas Limpas a fim tentar encontrar alguma correlação com os serviços e classificações das salas. Foram realizados ensaios microbiológicos em todas as salas da **Tabela 7**.

A análise microbiológica é extremamente importante nas SL, pois não se consegue evitar completamente a entrada de contaminantes externos. Os microrganismos podem ser introduzidos nas salas através de roupas, equipamentos, materiais, sem obrigatoriamente ser pelo ar que entra na sala. Uma limpeza inadequada de equipamentos, condutas de ar, filtros e superfícies pode permitir a entrada de contaminantes. Alguns materiais de construção e mobiliário podem liberar partículas ou serem propícios ao crescimento de microrganismos se não forem adequadamente projetados e mantidos.

8.5.1. Variação da Quantidade de Bactérias e Fungos em Salas Limpas de Fluxo Unidirecional de ar e humidade relativa

Para a primeira correlação entre os parâmetros da QAI e das Salas Limpas, estudou-se a variação dos parâmetros microbiológicos, com a classificação ISO das salas e humidade relativa, para um fluxo de ar unidirecional.

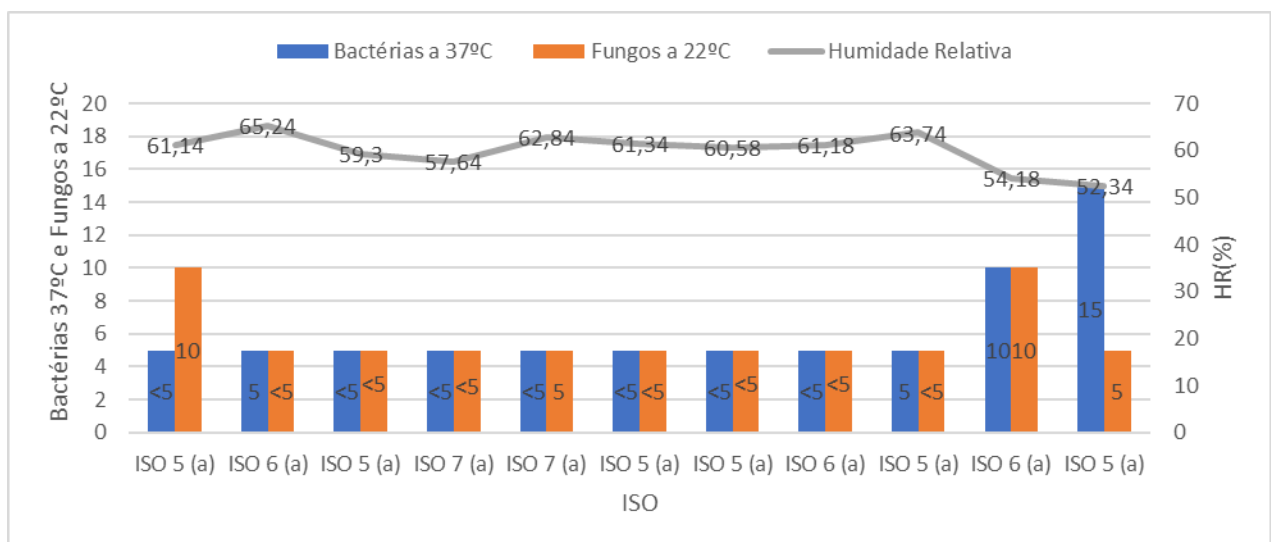


Figura 33: Variação da concentração de bactérias que crescem a 37°C e de fungos que crescem a 22 °C com a humidade relativa (HR%) para as várias salas limpas para fluxo de ar unidirecional, com a respetiva classificação

ISO. (a) - corresponde a sala de cirurgia; (a*) - corresponde a sala de pequenas cirurgias; (b) - corresponde a sala de exames; (c) - corresponde a sala de recobro ou UCPA; (d) - corresponde ao quarto de isolamento.

De acordo com a **Figura 33**, pode-se observar que em algumas Salas Limpas com ISO 5 a 7, a quantidade de fungos ou bactérias é <5 , que é praticamente indetetável, no caso de 7 salas. Nas restantes salas com ISO 5 a 6 é possível observar uma faixa de valores de concentração de bactérias e de fungos entre 5 UFC/m³ e 15 UFC/m³.

Todos os valores medidos encontram-se dentro do estabelecido na legislação. Segundo os dados obtidos não se consegue extrair conclusão fidedigna em relação à quantidade de bactérias e fungos presentes e as ISO das Salas Limpas já que o expectável seria que a sala com a ISO mais baixa tivessem a menor quantidade desses microrganismos, facto que é contrariado com resultados obtidos, em salas com ISO 5, com valores próximos de 0, bem como com valores entre 5 UFC/m³ e 15 UFC/m³. Assim, a ISO mais baixa não garante um menor crescimento de microrganismos dentro das Salas Limpas nem mesmo tendo o fluxo unidirecional de ar.

A humidade relativa é relativamente constante ao longo das salas e não é visível uma aparente relação entre microrganismos e humidade relativa. Este parâmetro foi usado, pois bactérias e fungos prosperam em ambientes húmidos. Se a humidade na sala limpa não for mantida dentro dos limites estabelecidos, podem-se criar condições favoráveis ao crescimento desses microrganismos.

8.5.2. Variação da Quantidade de Bactérias e Fungos em Salas Limpas de Fluxo não Unidirecional de ar e humidade relativa

Para a segunda correlação entre os parâmetros da QAI e das Salas Limpas, procedeu-se também à comparação da quantidade de bactérias e fungos que se desenvolvem 37 °C e fungos a 22 °C, respetivamente, com o tipo de fluxo de ar não unidirecional.

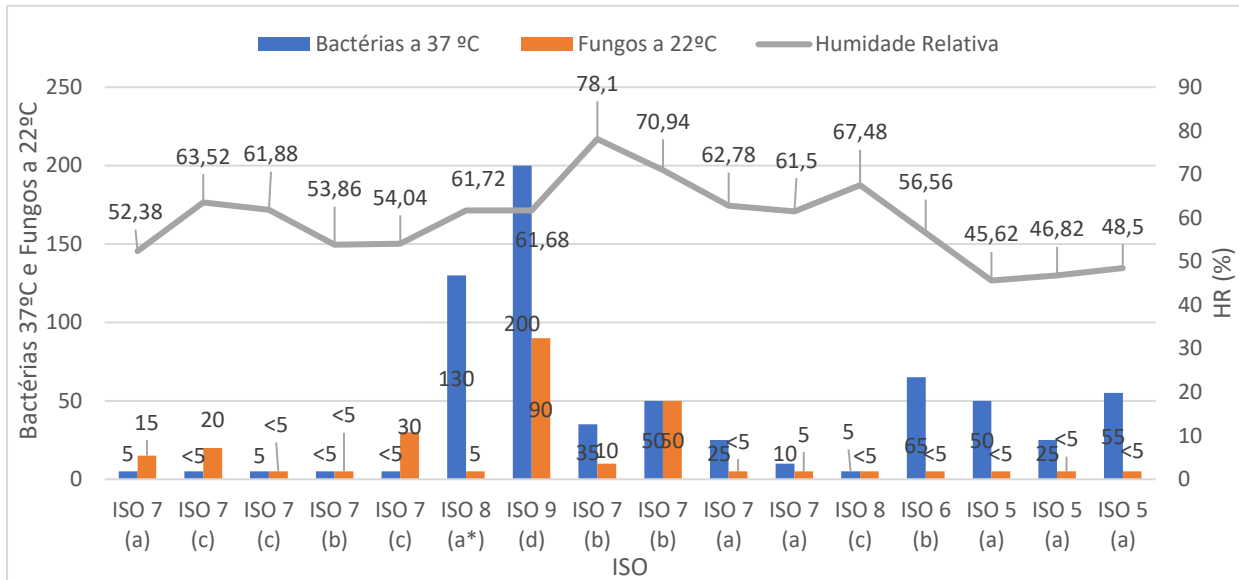


Figura 34: Variação da concentração de bactérias que crescem a 37°C e de fungos que crescem a 22 °C com a humidade relativa (HR) para as várias salas limpas para fluxo de ar não unidirecional, com a respetiva classificação ISO. (a) - corresponde a sala de cirurgia; (a*) - corresponde a sala de pequenas cirurgias; (b) - corresponde a sala de exames; (c) - corresponde a sala de recobro ou UCPA; (d) - corresponde ao quarto de isolamento.

De acordo com a **Figura 34**, pode-se observar que na maioria das Salas Limpas com a ISO 5 a 7, a quantidade de fungos ou bactérias é bastante maior que as salas com a mesma ISO, com fluxo unidirecional de ar (altera a ordem de grandeza). Neste caso específico já é possível inferir que as salas com a ISO mais alta e fluxo não unidirecional têm maior tendência para o crescimento de microrganismos. No entanto, ainda assim são necessárias uma amostra maior de salas para uma melhor conclusão.

A humidade relativa também tem uma maior variação, mas os picos não correspondem a maiores valores de concentração microbiológica e não se verifica uma correlação deste parâmetro com a carga microbiana.

8.6. Estimativas de crescimento de microrganismos para as Salas Limpas

Para finalizar o trabalho de estágio tentou-se estimar a quantidade de bactérias e fungos presentes em cada Sala Limpa com base na sua classificação ISO e tipo de fluxo de ar. De igual modo, estimar com os ensaios QAI onde foram detetadas bactérias/fungos e poder dizer ao cliente que uma dada sala provavelmente terá uma classificação ISO X.

Na **Tabela 13** encontram-se os parâmetros estatísticos relativos as Salas Limpas e os seus tipos de fluxo de ar. Como esperado as salas com fluxo não unidirecional possuem muito mais quantidades de microrganismos, tanto que a média dos valores para as bactérias é de cerca

de $<42,19 \text{ UFC/m}^3$ e o desvio-padrão é aproximadamente $<52,08 \text{ UFC/m}^3$ que é bem maior que as de fluxo unidirecional. O mesmo se observa com os fungos a 22°C .

Ainda sobre os dados da **Tabela 13** a variação entre a média e o desvio-padrão foi tão grande entre resultados que para um melhor cálculo devia-se aumentar muito mais o número de amostras de forma a obter ruma média representativa da população.

Tabela 13 – Parâmetros estatísticos das Salas Limpas com base no seu tipo de fluxo

Parâmetros	Bactérias a 37°C (UFC/m^3)	Fungos a 22°C (UFC/m^3)	Tipo de Fluxo
Total	<675	<265	Fluxo não unidirecional
Média	$<42,19$	$<16,56$	
Desvio-padrão	$<52,08$	$<22,48$	
Total	<250	<70	Fluxo unidirecional
Média	$<20,83$	$<5,83$	
Desvio-padrão	$<48,08$	$<1,86$	

De acordo com as amostras analisadas (salas) analisadas neste estágio, tentou-se encontrar correlações que pudessem ajudar a prever uma dada quantidade de bactérias e fungos dentro das Salas Limpas.

Por exemplo, caso se procedesse a um ensaio de classificação de Salas Limpas, e a sala tivesse um fluxo de ar não unidirecional e fosse classificada como ISO 5, poder-se-ia esperar uma média com base na **Tabela 14** de cerca de $43,33 \text{ UFC/m}^3$ em bactérias e $5,00 \text{ UFC/m}^3$ de fungos. Por outro lado, se a sala fosse de fluxo de ar unidirecional os valores de contaminação microbiológica já se esperariam na ordem de $6,67 \text{ UFC/m}^3$ para bactérias e $5,83 \text{ UFC/m}^3$ para fungos.

De igual modo, no caso da QAI poder-se-ia transmitir aos clientes, em salas com um fluxo não unidirecional, que ao encontrar-se por exemplo, uma concentração de bactérias média de cerca de $16,11 \text{ UFC/m}^3$ e de fungos $16,11 \text{ UFC/m}^3$, haveria grandes probabilidades dessa sala, ser classificada como uma Sala Limpa ISO 7, como mostra a **Tabela 14**.

Tabela 14 – Classificação e respetiva probabilidade de aparecimento de microrganismos (com base nos resultados obtidos)

ISO	Tipo de Fluxo	Média Bactérias	Bactérias Totais somadas (UFC/m^3)	% Bactérias por tipo de fluxo	Média Fungos	Fungos Totais somados (UFC/m^3)	% Fungos por tipo de fluxo
ISO 5	Não unidirecional	43,33	130	76,47	5,00	<15	$<30,00$
	Unidirecional	6,67	<40	$<23,53$	5,83	<35	$<70,00$
ISO 6	Não unidirecional	65,00	<65	$<76,47$	5,00	<5	$<20,00$
	Unidirecional	6,67	<20	$<23,53$	6,67	<20	$<80,00$

ISO 7	Não unidirecional	16,11	<145	<93,55	16,11	<145	<93,55
	Unidirecional	5,00	<10	<6,45	5,00	<10	<6,45
ISO 8	Não unidirecional	67,50	135	100,00	5,00	<10	<100,00
	Unidirecional	0	0	0	0	0	0
ISO 9	Não unidirecional	200,00	200	100,00	90,00	90	100,00
	Unidirecional	0	0	0	0	0	0

Contudo, para uma melhor previsão, o ideal seria obter uma amostragem muito maior do que a conseguida neste estágio curricular, tal como as amostras das salas ISO 7 e ISO 5.

A partir da ISO 8 ou 9, para salas de fluxo unidirecional não faz sentido os cálculos já que seriam salas “muito poluídas” para esse tipo de fluxo.

9. CONCLUSÕES

A presente tese de mestrado teve como objetivo monitorizar a Qualidade do Ar Interior em Salas Limpas, e através dessa monitorização encontrar possíveis correlações entre as análises da QAI e a classificação das respetivas salas.

Esta monitorização foi feita em três hospitais diferentes que foram designados por H1, H2 e H3, com o objetivo de recolher dados e desenvolver um estudo mais robusto. Os ensaios efetuados foram feitos apenas em Salas Limpas, porque se queria verificar potenciais correlações entre os parâmetros da classificação das Salas Limpas com os da QAI. A maior parte das salas analisadas foram salas de cirurgia do (Bloco Operatório) e as outras foram salas mais simples como, salas de exames de oftalmologia e dermatologia. Ao todo foram realizados ensaios em 32 locais e 11 serviços. Todas as salas possuem filtros HEPA do tipo 13 a 15. Os parâmetros estudados foram físico-químicos e microbiológicos da QAI de acordo com a Portaria 138-G/2021 e a ISO 7730 que se referem aos parâmetros de conforto térmico. No que diz respeito à classificação das Salas Limpas foram feitos os ensaios de acordo com a ISO 14644.

Em relação à monitorização dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da QAI, os dados obtidos encontram-se praticamente todos dentro dos limites estabelecidos nas normas, com exceção da humidade nas salas 26 e 27 da gastroenterologia do H2, a concentração de formaldeído e de compostos orgânicos voláteis totais (COVT) da sala de exames da dermatologia do H3. As médias gerais da QAI de todas as Salas Limpas analisadas foram os seguintes: das PM_{10} $0,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2.5}$ de $0,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CO_2 241,03 ppm, CO 1,18 ppm, CH_2O 0,02, COVT $0,61 \text{ mg}/\text{m}^3$, T °C 22 e %HR de 59,6, ou seja, todos dentro dos parâmetros legislados. Já na classificação das Salas Limpas todas as salas se encontraram dentro dos parâmetros da ISO 14644.

No que diz respeito às comparações entre a concentração de partículas suspensas no ar nas Salas Limpas e os parâmetros da QAI, verificou-se que não existe nenhuma influência direta entre este parâmetro e outros da QAI. A única relação que se observou foi o tipo de fluxo de ar nas Salas Limpas, se é unidirecional e ou não unidirecional e a quantidade de partículas. Verificou-se assim que, a concentração de partículas suspensas no ar é muito menor nas salas de fluxo unidirecional do que nas salas com o fluxo não unidirecional. A quantidade de bactérias e fungos também é influenciado pelo tipo de fluxo de ar nas salas, já que as salas com o fluxo de ar unidirecional possuem um nível de crescimento desses microrganismos muito menor, pois as condições de crescimento são mais desfavoráveis em comparação com as salas com fluxo de ar não unidirecional.

A classificação das Salas Limpas que variam de ISO 1 à ISO 9 também está relacionada com a limpeza das salas já que esta classificação está dependente da quantidade de partículas em suspensão no ar da sala. Nos dados recolhidos, a maior parte das Salas Limpas está classificada entre a ISO 5 à ISO 7, ou seja, estão próximas do nível recomendado para salas

de ambientes críticos como as salas de cirurgia, onde o recomendado é o mais próximo possível da ISO 5. As salas classificadas como ISO 6 são ambientes menos críticos se houver maior contaminação (mesmo que baixa). As salas com as ISO mais baixas também estão associadas a um menor crescimento de microrganismos e essas mesmas possuem maioritariamente o fluxo unidirecional de ar, que é o mais adequado para ambientes críticos. Outros fatores que podem ter influenciado os resultados são o erro humano, as condições de construção das salas, entre outros.

No que diz respeito as estimativas da quantidade de microrganismos nas Salas Limpas nos ensaios QAI, e a classificação ISO na classificação da Sala Limpa, embora tenha sido possível fazer os cálculos, ainda é preciso uma amostra muito maior de dados para que se obtenha uma média representativa da população.

Por fim, com este trabalho, verificou-se a influência direta que o fluxo de ar unidirecional ou não unidirecional, nas Salas Limpas, têm no crescimento das bactérias e fungos e que quanto mais baixa é a classificação ISO menor é a quantidade desses microrganismos. Em relação aos parâmetros da QAI, quanto menor é a ISO, melhores são as condições da QAI. E portanto sendo os fluxos de ar das salas o aspeto mais relevante deste estudo temos de levar em consideração a importância de se ter um filtro HEPA nas Salas Limpas a fim de se obter as melhores condições possíveis de funcionamento nessas salas, principalmente em salas críticas como as salas de cirurgia do bloco operatório.

E para finalizar, embora não se tenha obtido estimativas muito fidedignas, o trabalho em si irá ser de mais-valia para os clientes da ATM caso se continue a recolha de dados em Salas Limpas de forma a tornar as estimativas mais precisas e reais de modo a que futuramente se possa alertar aos clientes a probabilidade de existência de algum risco correlacionado com os parâmetros medidos nos ensaios da QAI ou Salas Limpas.

10. CONCLUSIONS

This master's thesis aimed to monitor Indoor Air Quality in Clean Rooms, and through this monitoring, find possible correlations between the IAQ analyzes and the classification of the respective rooms.

This monitoring was carried out in three different hospitals that were designated as H1, H2 and H3, with the aim of collecting data and developing a more robust study. The tests carried out were carried out only in Clean Rooms, because we wanted to verify potential correlations between the parameters of the Clean Room classification and those of the IAQ. Most of the rooms analyzed were operating rooms in the (Operating Room) and the others were simpler rooms, such as ophthalmology and dermatology exam rooms. In total, tests were carried out in 32 locations and 11 services. All rooms have HEPA filters type 13 to 15. The parameters studied were physicochemical and microbiological from QAI in accordance with Ordinance 138-G/2021 and ISO 7730 which refer to thermal comfort parameters. With regard to the classification of Clean Rooms, tests were carried out in accordance with ISO 14644.

Regarding the monitoring of the physicochemical and microbiological parameters of the IAQ, the data obtained are practically all within the limits established in the standards, with the exception of humidity in rooms 26 and 27 of the H2 gastroenterology, the concentration of formaldehyde and compounds total volatile organic matter (VOC) from the H3 dermatology exam room. The general IAQ averages of all Clean Rooms analyzed were as follows: PM10 $0.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 $0.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, CO₂ 241.03 ppm, CO 1.18 ppm, CH₂O 0, 02, COVT 0.61 mg/m³, T°C 22 and %RH of 59.6, that is, all within the legislated parameters. In the classification of Clean Rooms, all rooms were within the parameters of ISO 14644.

With regard to comparisons between the concentration of particles suspended in the air in Clean Rooms and the QAI parameters, it was found that there is no direct influence between this parameter and other QAI parameters. The only relationship that was observed was the type of air flow in the Clean Rooms, whether it is unidirectional or not unidirectional and the amount of particles. It was therefore verified that the concentration of particles suspended in the air is much lower in rooms with unidirectional flow than in rooms with non-unidirectional flow. The amount of bacteria and fungi is also influenced by the type of air flow in the rooms, since rooms with unidirectional air flow have a much lower level of growth of these microorganisms, as the growth conditions are more unfavorable compared to those rooms with non-unidirectional air flow.

The classification of Clean Rooms, which range from ISO 1 to ISO 9, is also related to the cleanliness of the rooms as this classification depends on the amount of particles suspended in the room's air. In the data collected, most Clean Rooms are classified between ISO 5 and ISO 7, that is, they are close to the recommended level for rooms in critical environments such as operating rooms, where the recommendation is as close as possible to ISO 5 Rooms classified as ISO 6 are less critical environments if there is greater contamination (even if low). Rooms with lower ISOs are also associated with less growth of microorganisms and these rooms mostly have unidirectional air flow, which is most suitable for critical environments.

Other factors that may have influenced the results are human error, the construction conditions of the rooms, among others.

Regarding the estimates of the amount of microorganisms in Clean Rooms in the QAI tests, and the ISO classification in the Clean Room classification, although it was possible to make the calculations, a much larger sample of data is still needed to obtain an average representative of the population.

Finally, with this work, it was verified the direct influence that unidirectional or non-unidirectional air flow, in Clean Rooms, has on the growth of bacteria and fungi and that the lower the ISO classification, the lower the quantity of these microorganisms. Regarding the IAQ parameters, the lower the ISO, the better the IAQ conditions. Therefore, as the air flows in the rooms are the most relevant aspect of this study, we must take into account the importance of having a HEPA filter in Clean Rooms in order to obtain the best possible operating conditions in these rooms, especially in critical rooms such as the operating rooms of the operating room.

And finally, although very reliable estimates were not obtained, the work itself will be of added value to ATM customers if data collection in Clean Rooms continues in order to make estimates more precise and real in a so that in the future customers can be alerted to the probability of the existence of a risk correlated with the parameters measured in the IAQ or Clean Rooms tests.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1] ATM, 2 julho 2023. [Online]. Available: <https://atmtotal.com>. [Acedido em 19 julho 2023].
- [2] F. S. L. B. a. O. M. Cédric Baecher, “Indoor air quality: tackling the challenges of the challenges of the invisible,”, The Veolia Institute Review, Field Actions Science Reports, 2020.
- [3] EPA, 23 Janeiro 2023. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/air-research/research-health-effects-air-pollution>. [Acedido em 11 agosto 2023].
- [4] A. M. d. C. Ferreira, “Covid-19 e Confinamento: Impacte da Qualidade do Ar Interior Residencial na Saúde dos Trabalhadores Teletrabalho”, Dissertação apresentada à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para cumprimento do programa de pós-doutoramento em Impacto da Qualidade do Ar na Saúde Humana, 2021.
- [5] T. E. d. F. Baptista, “Indoor Environmental Quality Assessment in Groceries”, Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Politécnico de Lisboa da Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em segurança e saúde ocupacional, julho 2022.
- [6] M. F. N. Neto, “Qualidade do ar interior e os requisitos de ar novo numa unidade hospitalar: O caso do Hospital Escola Fernando Pessoa,” Dissertação apresentada a Universidade Fernando Pessoa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Ambiental, 2015.
- [7] J. B. A. M. A. C. João Matos, “Qualidade do Ar em Espaços Interiores,” Um Guia Técnico ,Maio 2010.
- [8] Apo Partner, 2023. [Online]. Available: <https://www.apopartner.pt/monitorizacao-da-qualidade-do-ar-interior/>. [Acedido em 1 outubro 2023]
- [9] Portaria nº 138-G/2021 de 1 de julho de 2021 . Diário da República 1ª- Série – nº 126 Ministério da Saúde. Lisboa
- [10] International Organization for Standardization, “ISO 7730:2005, Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria” , 2005.
- [11] R. K. Hellgren U-M, “Indoor-air-related complaints and symptoms among hospital workers,” Scandinavian Journal of Work, Environment e Health, 2006.

- [12] C. N. França, “Estudo de Bioaerossóis Bacterianos em Ambiente Hospitalar,” Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Bioquímica Aplicada, Universidade da Madeira, 2010.
- [13] J. L. d. Matos, “Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar: Identificação de Poluentes, Fontes e Estratégias para a Otimização dos Serviços de Saúde,” Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente , Março 2014.
- [14] International Organization for Standardization “ISO, 14644-1/2015, Cleanrooms and associated controlled environments — Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration”, p. 37, 2015.
- [15] Linter Filtros, 2023. [Online]. Available: <https://linterfiltros.com.br/filtros-hepa-h13-e-h14/>. [Acedido em 30 setembro 2023].
- [16] Learn Metrics, 2023. [Online]. Available: <https://learnmetrics.com/h13-vs-h14-hepa-filters/>. [Acedido em 30 setembro 2023]
- [17] E. Moia, “ISPE,” 2023. [Online]. Available: <https://ispe.org/pharmaceutical-engineering/september-october-2021/pharmaceutical-cleanroom-design-iso-14644-16>. [Acedido em 1 outubro 2023]
- [18] M. M. Monica Puri Sikka, “A critical review on cleanroom filtration,” Research Journal of Textile and Apparel, 13 Setembro 2021.
- [19] European Pharmacopea , “Cleanroom classification Annex 1”, 2022
- [20] L. S. D. Carvalho, “Avaliação da qualificação do setor de fabrico de soluções injetáveis de pequeno volume,” Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química e Bioquímica, Março 2016.
- [21] Galvani, 2022. [Online]. Available: <https://galvani.eu/blog/iso-14644-1-clean-room-standards/>. [Acedido em 16 setembro 2023]
- [22] Xu, Zhonglin, “Fundamentals of Air Cleaning Technology and Its Application in Cleanrooms”, 2013, p. 377–465.
- [23] ACSS, “Especificações Técnicas para Instalações de AVAC – ET 06/2008” UIE/ACSS, 2008.
- [24] Portaria nº 290/2012 de 24 de Setembro de 2012 . Diário da República 1ª- Série – nº 185 Ministério da Saúde. Lisboa
- [25] Portaria nº 291/2012 de 24 de Setembro de 2012 . Diário da República 1ª- Série – nº 185 Ministério da Saúde. Lisboa

- [26] H. L. Powell, “Estimating Air Pollution and its Relationship with Human Health”, Dissertação para a obtenção do grau de doutor em filosofia da Escola de Matemática e Estatística do Colégio de Ciências e Engenharia da Universidade de Glasgow, Julho 2012.
- [27] E. S. A. S. E. B. Ioannis Manisalidis, “Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review”, *Frontiers in public Health*, 20 Fevereiro 2020.
- [28] [27] WHO, WHO global air quality guidelines, 2021.
- [29] M. S. G. V. I. A.-M. Marion Hulin, “Respiratory health and indoor air pollutants based on quantitative exposure assessments,” *European Respiratory Journal*, p. 1033–1045, 2012.
- [30] Graywolf, 2023. [Online]. Available: <https://graywolfsensing.com/wp-content/pdf/GrayWolfPC-3016AParticulateMeterBrochure%20918.pdf>. [Acedido em 19 julho 2023].
- [31] AZOM, 2021. [Online]. Available: https://cleanroomtechnology.com/news/article_page/Making_sense_of_particle_counters/143725. [Acedido em 17 agosto 2023].
- [32] Golighthouse, 2023. [Online]. Available: <https://www.golighthouse.com/en/operating-manuals/>. [Acedido em 19 setembro 2023].
- [33] APA, 2021. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/compostos-organicos-volateis-cov>. [Acedido em 27 agosto 2023].
- [34] APA, 2021. [Online]. Available: <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/monóxido-de-carbono-co>. [Acedido em 27 agosto 2023].
- [35] V. R. Ferreira, “UOL,” 2023. [Online]. Available: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/monóxido-carbono.htm>. [Acedido em 5 outubro 2023].
- [36] R. M. D. S. C. C. Joseph M. Seguel, “Indoor Air Quality,” *American Journal of Lifestyle Medicine*, p. 284–295, 2017.
- [37] K. Onissiphorou, “Chemicals,” 2023. [Online]. Available: <https://www.chemicals.co.uk/blog/is-formaldehyde-harmful-to-humans>. [Acedido em 19 julho 2023].
- [38] G. B. V. C. R. N. P. D. M. S. S. F. C. M. P. S. I. M. V. Carmela Protano, “The Carcinogenic Effects of Formaldehyde Occupational Exposure: A Systematic Review,” 2022.
- [39] M. E. B. Jill M Voorhees, “Airborne Formaldehyde Levels During Simulated Formalin Egg Treatments in Vertical-Flow Tray Incubators at a Production Fish Hatchery,” *American Society of Agricultural Engineers*, 2016.

- [40] “FP-31 Formaldehyde Portable Gas Detector,” 2023. [Online]. Available: <https://www.rkiinstruments.com/product/fp-31-gas-detector/>. [Acedido em 14 agosto 2023].
- [41] R. Mäkynen, “Carbon Dioxide Level Prediction for Indoor Air Using Neural networks,” Master’s Thesis in Electrical Engineering/ M3S, Faculty of Information Technology, 16 May 2020.
- [42] E. H. Suzuki, “Avaliação do Conforto térmico e do nível de CO2 em edifícios de escritório com climatização artificial na cidade de são paulo,” Dissertação de Mestrado para obtenção do título de Mestre em engenharia de construção civil e urbana, 2010.
- [43] “OIZOM,” 2023. [Online]. Available: <https://oizom.com/knowledgege-bank/tvoc-monitoring/>. [Acedido em 25 novembro 2023]
- [44] “CO2 Meter,” 2023. [Online]. Available: <https://www.co2meter.com/blogs/news/how-does-an-ndir-co2-sensor-work>. [Acedido em 25 novembro 2023]
- [45] N.Tauqir “Electrochemical sensors of environmental pollutants based on carbon electrodes modified by ordered mesoporous silica,” Thesis presented for the title of Doctor of chemistry from the University of Lorraine- Faculty of Sciences and Technology, 9 July 2018.
- [46] D. L. L. R. M. Igor Cretescu, Electrochemical Sensors for Monitoring of
- [47] Alphasense, [Online]. Available: <https://www.alphasense.com/products/carbon-monoxide-sensors/>. [Acedido em 25 Novembro 2023].
- [48] “DBM610 Airflow Meter,” 2023. [Online]. Available: <https://www.instrumentation2000.com/pub/media/pdf/kimo-dbm610-manual.pdf>. [Acedido em 19 agosto 2023].
- [49] Graywolf, “Graywolf,” 2023. [Online]. Available: https://graywolfsensing.com/iaq/?gclid=Cj0KCQjwoeemBhCfARIsADR2QCuteRIjBvne40P0WJC5TJgoJMt6VzyxuD7_X17zInNXw7vldxfnnXcaAkKaEALw_wcB. [Acedido em 14 agosto 2023].
- [50] Sentronic, 15 Agosto 2023. [Online]. Available: https://www.sentronic.com/data/product_datasheets/KIMO-Portables-AMI310.pdf. [Acedido em 15 agosto 2023].
- [51] A. L. VanDyke-Gonnerman, “COMPARATIVE ANALYSIS OF BACTERIAL AND FUNGAL COMMUNITIES IN TWO DAIRY PARLORS THROUGH THE USE OF PYROSEQUENCING, RIBOPRINTING, CULTURE TECHNIQUES, AND MICROSCOPIC ANALYSIS,” Degree of Master of Science, Colorado State University, 2013.
- [51] Massetrecovery, 15 Agosto 2023. [Online]. Available: <https://www.massetrecovery.com/pictures12/sasmanual.pdf>. [Acedido em 15 agosto 2023].

[52] A. I. B. Lopes, “Qualidade do ar interior em ambiente hospitalar”, Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Politécnico de Viana do para obtenção do grau de Mestre em segurança do trabalho, setembro 2016.

[53] International Organization for Standardization “ISO, 14644-3/2019, Cleanrooms and associated controlled environments — Cleanrooms and associated controlled environments — Part 3: Test methods”, 2015.

[54] Decreto-Lei nº 101-D/2020, de 7 de dezembro. Diário da República n.º 28/2022, Série II de 2022-02-09, páginas 189 – 195, Ministério da Saúde. Lisboa.

[55] M. Kitain, “Cleanrooms in pharmaceutical production,” Bachelor’s thesis in Building Services in Mikkeli University of Applied Sciences, March 2010.

Anexo A – Resultados dos ensaios efetuados as Salas Limpas

Tabela A1 – Resultados da QAI nas Salas Limpas

Local	Serviço	Edifício	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	CO ² (ppm)	CO(ppm)	CH ₂ O(ppm)	COVT(mg/m ³)	T(°C)	%HR	Condição
Sala 1	Bloco Operatório	H1	0	0	379	1,4	0,02	0,66	23,2	50,8	Em Repouso
Sala 2	Bloco Operatório	H1	0	0	81	0,6	0,02	0,45	20,3	60,2	Em Repouso
Sala 3	Bloco Operatório	H1	0	0	60	0,6	0,02	0,49	20,1	63,2	Em Repouso
Sala 4	Bloco Operatório	H1	0	0	79	1,3	0,02	0,62	20,5	59,4	Em Repouso
Sala 5	Bloco Operatório	H1	0	0	111	1	0,02	0,66	20,2	59,3	Em Repouso
Sala 6	Bloco Operatório	H1	0	0	116	1,3	0,02	0,61	21,4	62,5	Em Repouso
Sala 7	Bloco Operatório	H1	0,1	0	138	1,4	0,02	0,72	21,7	61,2	Em Repouso
Sala 8	Bloco Operatório	H1	0	0	386	1,2	0,02	0,73	21,8	60,8	Em Repouso

Sala 9	Bloco Operatório	H1	0	0	389	1,6	0,02	0,56	20,9	61,1	Em Repouso
Sala 10	Bloco Operatório	H1	0	0	70	1,1	0,02	0,5	19,6	63,6	Em Repouso
UCPA I	Bloco Operatório	H1	0,5	0,1	76	1,4	0,02	0,59	22,1	63,4	Em Repouso
UCPA II	Bloco Operatório	H1	0,3	10	147	1,6	0,02	0,68	22,5	61,5	Em Repouso
Sala	Angiografia	H1	0	0,5	373	1,1	0,02	0,72	21,7	53,6	Em Repouso
Recobro	Angiografia	H1	0,1	1,1	194	1,3	0,02	0,64	23,2	51,4	Em Repouso
Sala Pequenas Cirurgias	AP	H1	1,3	0,1	176	1,2	0,02	0,55	21,5	62	Em Repouso
Quarto de Isolamento	AP	H1	8,5	1,7	156	1,8	0,02	0,59	21,8	61,4	Em Repouso
Exterior	Exterior	H1	78,3	11,4	512	3,6	0,02	0,29	18,4	33,7	Em Repouso
Sala 26	Gastro	H2	1,3	0,1	75	0,8	0,02	0,47	23,5	78,4	Em Repouso
Sala 27	Gastro	H2	0	0	98	0,5	0,02	0,68	22,9	71,4	Em Repouso

Ambulatório	Gastro	H2	0,3	0	105	0,3	0,02	0,78	23,2	67,4	Em Repouso
Sala 1	Bloco Operatório	H2	0	0	87	0,7	0,02	0,98	20,3	62,3	Em Repouso
Sala 2	Bloco Operatório	H2	0,3	0	97	0,6	0,02	0,56	19,8	60,9	Em Repouso
Recobro	Bloco Operatório	H2	0,2	0	83	0,7	0,02	0,77	21,8	67,9	Em Repouso
Exterior	Exterior	H2	80,8	8,2	538	3,2	0,02	0,37	17,4	31,8	Em Repouso
UNICERN	Bloco de Partos	H3	3,2	0,2	513	2,1	0,08	0,47	25,2	54,4	Em Repouso
Quarto de Isolamento	UCI	H3	0,1	1,7	468	2	0,06	0,57	25	55,4	Em Repouso
Unidade	UCICA	H3	0	0,3	434	1,5	0,04	0,48	25,2	53	Em Repouso
Sala	Maxilo Facial	H3	0,6	2,6	378	1,4	0,03	0,46	22,7	56,8	Em Repouso
Sala Cirurgia	Dermatologia	H3	0	0,3	345	3,4	0,11	1,22	26,1	46,4	Em Repouso
Sala	Oftalmologia	H3	0	0,2	531	1,4	0,07	0,33	22,5	53,3	Em Repouso

Sala 4	Bloco Operatório	H3	0	0	384	0,8	0,04	0,34	23,3	53,8	Em Repouso
Sala 6	UCA	H3	0	0	357	0,5	0,04	0,67	24,4	42,6	Em Repouso
Sala 7	UCA	H3	0	0,3	490	0,4	0,02	0,49	20,6	60,3	Em Repouso
Sala 8	UCA	H3	1,6	8,6	337	0,8	0,02	0,66	22,8	68,1	Em Repouso
Exterior	Exterior	H3	47,5	8,3	477	2,4	0,02	0,28	18,3	41,4	Em Repouso

Tabela A2 – Resultados dos parâmetros físico-químicos das Salas Limpas

Local	Serviço	Edifício	Tipo de Fluxo	T(°C)	%HR	Ren/h	Pressão da Sala	Classificação	Condição
Sala 1	Bloco Operatório	H1	Não Unidirecional	22,92	52,38	26,4	Sobrepessão	ISO 7	Em repouso
Sala 2	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	19,86	61,14	38,9	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso
Sala 3	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	20,08	65,24	42,2	Sobrepessão	ISO 6	Em repouso
Sala 4	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	20,46	59,3	50,6	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso

Sala 5	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	20,26	57,64	55,1	Sobrepessão	ISO 7	Em repouso
Sala 6	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	20,96	62,84	50,8	Sobrepessão	ISO 7	Em repouso
Sala 7	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	21,84	61,34	47,3	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso
Sala 8	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	21,46	60,58	47	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso
Sala 9	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	20,78	61,18	34,8	Sobrepessão	ISO 6	Em repouso
Sala 10	Bloco Operatório	H1	Unidirecional	19,88	63,74	42	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso
UCPA I	Bloco Operatório	H1	Não Unidirecional	22,1	63,52	12,2	Sobrepessão	ISO 7	Em repouso
UCPA II	Bloco Operatório	H1	Não Unidirecional	22,68	61,88	16,3	Sobrepessão	ISO 7	Em repouso
Sala	Angiografia	H1	Não Unidirecional	21,96	53,86	9,5	Sobrepessão	ISO 7	Em repouso
Recobro	Angiografia	H1	Não Unidirecional	23,3	54,04	4,5	Sobrepessão	ISO 7	Em repouso
Sala Pequenas Cirurgias	AP	H1	Não Unidirecional	21,4	61,72	25,6	Sobrepessão	ISO 8	Em repouso

Quarto de Isolamento	AP	H1	Não Unidirecional	21,86	61,68	15,97	Sobreprensão	ISO 9	Em repouso
Exterior	Exterior	H1	-	-	-	-	-	Exterior	-
Sala 26	Gastro	H2	Não Unidirecional	23,54	78,1	17,8	Sobreprensão	ISO 7	Em repouso
Sala 27	Gastro	H2	Não Unidirecional	23,28	70,94	10,6	Sobreprensão	ISO 7	Em repouso
Ambulatório	Gastro	H2	Não Unidirecional	-	-	-	-	-	Em repouso
Sala 1	Bloco Operatório	H2	Não Unidirecional	20,58	62,78	18,5	Sobreprensão	ISO 7	Em repouso
Sala 2	Bloco Operatório	H2	Não Unidirecional	20,34	61,5	16,8	Sobreprensão	ISO 7	Em repouso
Recobro	Bloco Operatório	H2	Não Unidirecional	22,1	67,48	13	Sobreprensão	ISO 8	Em repouso
Exterior	Exterior	H2	-	-	-	-	-	Exterior	-
UNICERN	Bloco de Partos	H3	Não Unidirecional	-	-	-	-	-	-
Quarto de Isolamento	UCI	H3	Unidirecional	-	-	-	-	-	-
Unidade	UCICA	H3	Não Unidirecional	-	-	-	-	-	-

Sala	Maxilo Facial	H3	Não Unidirecional	-	-	-	-	-	-
Sala Cirurgia	Dermatologia	H3	Unidirecional	22,48	54,18	14	Sobrepessão	ISO 6	Em repouso
Sala	Oftalmologia	H3	Não Unidirecional	21,64	56,56	25,6	Sobrepessão	ISO 6	Em repouso
Sala 4	Bloco Operatório	H3	Unidirecional	20,14	52,34	29,6	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso
Sala 6	UCA	H3	Não Unidirecional	21,78	45,62	85,1	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso
Sala 7	UCA	H3	Não Unidirecional	22,56	46,82	21,2	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso
Sala 8	UCA	H3	Não Unidirecional	22,22	48,5	21,5	Sobrepessão	ISO 5	Em repouso

Tabela A3 – Resultados microbiológicos dos ensaios realizados nas Salas Limpas

Local	Serviço	Edifício	Bactérias a 37 °C	Bactérias a 22 °C	Escherichia coli	Staphylococcus aureus	Acinetobacter sp.	Streptococcus spp.	Pseudomonas sp.	Fungos a 22°C	Espécies Comuns	Espécies Pouco Comuns	Espécies Patogénicas	Espécies Toxinogénicas
Sala 1	Bloco Operatório	H1	5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	15	15	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 2	Bloco Operatório	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	10	10	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 3	Bloco Operatório	H1	5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 4	Bloco Operatório	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 5	Bloco Operatório	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 6	Bloco Operatório	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 7	Bloco Operatório	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 8	Bloco Operatório	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 9	Bloco Operatório	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 10	Bloco Operatório	H1	5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Monitorização da Qualidade do Ar Interior em Salas Limpas: um estudo comparativo em ambientes hospitalares

UCPA I	Bloco Operatório	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	20	20	Ausente	Ausente	Ausente
UCPA II	Bloco Operatório	H1	5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala	Angiografia	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Recobro	Angiografia	H1	<5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	30	30	Ausente	Ausente	Ausente
Sala Pequenas Cirurgias	AP	H1	130	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Quarto de Isolamento	AP	H1	200	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	90	60	Ausente	Ausente	10
Exterior	Exterior	H1	165	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	5,20E+02	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 26	Gastro	H2	35	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	10	5	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 27	Gastro	H2	50	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	50	35	Ausente	Ausente	Ausente
Ambulatório	Gastro	H2	15	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	65	30	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 1	Bloco Operatório	H2	25	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 2	Bloco Operatório	H2	10	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Recobro	Bloco Operatório	H2	5	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Exterior	Exterior	H2	50	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	1155	1065	Ausente	Ausente	Ausente

Monitorização da Qualidade do Ar Interior em Salas Limpas: um estudo comparativo em ambientes hospitalares

UCERN	Bloco de Partos	H3	105	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	15	15	Ausente	Ausente	Ausente
Quarto de Isolamento	UCI	H3	180	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	5	5	Ausente	Ausente	Ausente
Unidade	UCICA	H3	45	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	25	20	Ausente	Ausente	Ausente
Sala	Maxilo Facial	H3	110	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	20	15	Ausente	Ausente	Ausente
Sala Cirurgia	Dermatologia	H3	10	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	10	10	Ausente	Ausente	Ausente
Sala	Oftalmologia	H3	65	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 4	Bloco Operatório	H3	15	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	5	5	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 6	UCA	H3	50	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 7	UCA	H3	25	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 8	UCA	H3	55	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<5	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sala 1	Bloco Operatório	H1	60	NA	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	560	475	Ausente	Ausente	10

Anexo B – Parâmetros limites dos ensaios

Tabela B1 – Limites dos parâmetros físico-químicos da QAI

Poluentes	Unidade	Limiar de proteção	Margem de tolerância [%]
Partículas em suspensão (fração PM ₁₀)	[µg/m ³]	50	100
Partículas em suspensão (fração PM _{2,5})	[µg/m ³]	25	100
COV	[µg/m ³]	600	100
CO	[mg/m ³]	10	-
	[ppmv]	9	
CH ₂ O	[µg/m ³]	100	-
	[ppmv]	0,08	
CO ₂	[mg/m ³]	2250	30
	[ppmv]	1250	
Radão	[Bq/m ³]	300 i)	-

Tabela B2 – Listagem das espécies de fungos e respetivos limites para cada espécie na QAI

Espécies		Condições específicas de conformidade
Espécies comuns (excluindo as produtoras de toxinas).	<i>Cladosporium spp</i>	Mistura de espécies: concentração inferior ou igual a 500 UFC/m ³ .
	<i>Penicillium spp</i>	
	<i>Aspergillus spp</i>	
	<i>Alternaria spp</i>	
	<i>Eurotium spp</i>	
	<i>Paecilomyces spp</i>	
	<i>Wallemia spp</i>	
Espécies pouco comuns	<i>Acremonium spp</i>	Cada espécie: concentração inferior a 50 UFC/m ³ .
	<i>Chrysonilia spp</i>	
	<i>Tricothecium spp</i>	Mistura de espécies: concentração inferior ou igual a 150 UFC/m ³ .
	<i>Curvularia spp</i>	
	<i>Nigrospora spp</i>	
Espécies patogénicas	<i>Chytridococcus neoformans</i>	Ausência de toda e qualquer espécie.
	<i>Histoplasma capsulatum</i>	
	<i>Blastomyces dermatitidis</i>	
	<i>Coccidioides immitis</i>	
Espécies toxinogénicas	<i>Stachybotrys chartarum</i>	Cada espécie: concentração inferior a 12 UFC/m ³ (várias colónias por cada placa).
	<i>Aspergillus versicolor</i>	
	<i>Aspergillus flavus</i>	
	<i>Aspergillus ochraceus</i>	
	<i>Aspergillus terreus</i>	
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	
	<i>Fusarium moniliforme</i>	
	<i>Fusarium culmorum</i>	
	<i>Trichoderma viride</i>	

Tabela B3 – Classificação ISO das Salas Limpas de acordo com a concentração de partículas

ISO Class number (N)	Maximum allowable concentrations (particles/m ³) for particles equal to and greater than the considered sizes, shown below ^a					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
1	10 ^b	d	d	d	d	e
2	100	24 ^b	10 ^b	d	d	e
3	1 000	237	102	35 ^b	d	e
4	10 000	2 370	1 020	352	83 ^b	e
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	d, e, f
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7	c	c	c	352 000	83 200	2 930
8	c	c	c	3 520 000	832 000	29 300
9 ^g	c	c	c	35 200 000	8 320 000	293 000

^a All concentrations in the table are cumulative, e.g. for ISO Class 5, the 10 200 particles shown at 0,3 µm include all particles equal to and greater than this size.

^b These concentrations will lead to large air sample volumes for classification. Sequential sampling procedure may be applied: see [Annex D](#).

^c Concentration limits are not applicable in this region of the table due to very high particle concentration.

^d Sampling and statistical limitations for particles in low concentrations make classification inappropriate.

^e Sample collection limitations for both particles in low concentrations and sizes greater than 1 µm make classification at this particle size inappropriate, due to potential particle losses in the sampling system.

^f In order to specify this particle size in association with ISO Class 5, the macroparticle descriptor M may be adapted and used in conjunction with at least one other particle size. (See [C.7](#))

^g This class is only applicable for the in-operation state.

Tabela B4 – Classificação das Salas Limpas das Farmácia de acordo com a concentração de partículas e respetivo grau

Grade	Maximum limits for total particle ≥ 0.5 µm/m ³		Maximum limits for total particle ≥ 5 µm/m ³	
	at rest	in operation	at rest	in operation
A	3 520	3 520	Not specified	Not specified
B	3 520	352 000	Not specified	2 930
C	352 000	3 520 000	2 930	29 300
D	3 520 000	Not predetermined	29 300	Not predetermined

Tabela B5 – Número de pontos por sala de acordo com a ISO 14644-1/2015

Area of cleanroom (m²) less than or equal to	Minimum number of sampling locations to be tested (N_L)
2	1
4	2
6	3
8	4
10	5
24	6
28	7
32	8
36	9
52	10
56	11
64	12
68	13
72	14
76	15
104	16
108	17
116	18
148	19
156	20
192	21
232	22
276	23
352	24
436	25
636	26
1 000	27

Tabela B6 – Parâmetros de pressão, caudal de ar recirculado e novo, temperatura e humidade para cada compartimento

Serviços e Salas		Sobrepressão/ Subpressão	Caudal de ar recircul ado Rec/h	Caudal de ar renovad o Ren/h	Temperat ura (°C)	Humidad e relativa (%HR)
Bloco Operatório	Sala de Operações	Sobrepressão	20	*	17 a 27	30 a 60
	Recobro	Sobrepressão	10	*	24	60
	Restante bloco	Sobrepressão	-	$\geq 8 \geq 8$	24	50
Unidade de cuidados intensivos – Sala aberta (UCI)		Sobrepressão	10	-	24	50
Neonatologia	Sala prematuros	Sobrepressão	-	10	25 a 27	60
	Restantes compartimentos		8	*	25	40 a 50
Anatomia patológica	Sala de autópsias	Subpressão	-	2	20 a 24	50
	Restantes compartimentos	Subpressão	-	*	25 Verão e 18 Inverno	-
Imagiologia	Sala de exames invasivos	Sobrepressão	Existe recirculação	*	20 a 25	30 a 60
	Sala de exames gerais	Equilíbrio	-	*	25 verão e 22 inverno	-

	Restantes compartimentos	Equilíbrio	-	*	25 Verão e 20 Inverno	-
Esterilização	Zona não estéril	-15 Pa \pm \pm 5 Pa	-	8	22 a 25	40 a 60
	Zona estéril	15 Pa \pm \pm 5 Pa	8	2	22 a 25	40 a 60
Doenças infecciosas		Subpressão	-	12	25 Verão 20 Inverno	-
Unidades de internamento	Enfermarias e Quartos	Subpressão	-	*	25 Verão 20 Inverno	-
	Sala de tratamentos	Ligeira Subpressão	-	*	25 Verão 20 Inverno	-
	Restantes compartimentos	Sobrepresão	-	*	25 Verão 20 Inverno	-
Hemodiálise		Equilíbrio	-	*	25 Verão 20 Inverno	-
Cirurgia de Ambulatório		Igual sala de operações				
Quartos de Isolamentos		Igual as UCI				
Farmácia	Armazém geral	Equilíbrio	-	2	25 Verão 18 Inverno	-
	Preparação de citostáticos	-2,5 a -5 Pa em relação aos espaços circundantes	>20	*	25 Verão 20 Inverno	40 \pm \pm 5 Pa, a 60 \pm \pm 5 Pa
		10 a 15 Pa a antecâmara deve estar relativamente a sala de apoio				
		10 a 15 Pa a antecâmara deve estar relativamente ao corredor de acesso ao local				
Preparação de estéreis	10 a 15 Pa a sala de preparação deve estar relativamente antecâmara	>20	*	25 Verão 20 Inverno	-	

		10 a 15 Pa a sala de apoio deve estar relativamente ao corredor de acesso local				
	Restantes compartimentos	Equilíbrio	-	*	25 Verão 20 Inverno	-

Tabela C2.1 – Folha de registo das SL (Fluxo não unidirecional)

Nº Relatório: _____		Condições Ambientais														
Caracterização da SZL:																
Data:	_____	Hora : min	_____													
Ciente:	_____															
Local:	_____															
Estado Ocupação:	Em Repouso															
Área [m²]:	37,9															
Altura [m]:	3,0															
Volume [m³]:	114															
Tipo de Fluxo:	(riscar caso NA)	Não Unidirecional														
Total SUP [m³/h]:																
Total ETA [m³/h]:																
Ren / h:	#VALORI															
Equipamentos usados:																
Parâmetro analisado	Nº ATM Equipamento															
Contagem de Partículas																
Temperatura																
Humidade Relativa																
Diferenciais de Pressão																
Velocidade do Ar																
Caudal do Ar																
<p>Legenda:</p> <p>P - Local do Processo; SUP - Suply Air (ar insuflação); ETA - Extract Air (ar extração). DT - Difusor de Teto (SUP) DPS- Difusor Parede Superior (SUP); DPI - Difusor Parede Inferior (SUP); GT - Grelha Teto GPS - Grelha Parede Superior (ETA); GPI - Grelha Parede Inferior (ETA); PE - Porta Entrada PX - Porta Saída PH - Porta Higienização PS - Porta Sujos PP - Porta Paciente SZL - Sala ou Zona Limpa NA - Não Aplicável</p>																
Planta SZL com localização e identificação dos Locais (1) a ensaiar:																
Registos (Caudais / Velocidades do Ar na Página 2):																
Local (1)	Classificação		Temperatura (mín.: 1 local -5 amostras - 1 min/amostra)					Humidade Relativa (mín.: 1 local -5 amostras -1 min/amostra)					Diferenciais de Pressão			
	Partículas /m³			T-1 min	T-2 min	T-3 min	T-4 min	T-5 min	HR-1min	HR-2 min	HR-3 min	HR-4 min	HR-5 min	Local	Compart Ensaio (<0 Pa)	Pressão [Pa]
	0,3 µm	0,5 µm	____, ____ µm	°C	°C	°C	°C	°C	%HR	%HR	%HR	%HR	%HR		Compart Refª (0 Pa)	
P1														ΔP 1	Sala Processo	
2														ΔP 2	PE	0
3														ΔP 3	Sala Processo	
4														ΔP 4	PH	0
5															Sala Processo	
6															PS	0
7																
8																
9																
															Técnico do Ensaio (Nome / nº Mec):	
LOCAIS DE AMOSTRA (1): <input type="text" value="9"/> AMOSTRAS/LOCAL: <input type="text" value="1"/> VOLUME DA AMOSTRA (l): <input type="text" value="28,3"/> TEMPO AMOSTRA (min): <input type="text" value="1"/> TEMPO ENTRE AMOSTRAS (min): <input type="text" value="5"/>																
Notas: (1) Locais identificados na Planta e no Quadro dos "Registos". (2) Ver "Notas durante o Ensaio" na Página 2/2																

Tabela C2.2 – Folha de registo das SL (Fluxo não unidirecional)

Nº Relatório: 0			Condições Ambientais													
Caracterização da SZL:			Notas durante ensaio:													
Data e Hora:																
Cliente:																
Local:																
Registos (ver Página 1):																
Local (1)	Grelhas		Velocidade [m/s]						Caudais [m3/h]					Caudal Total qt = Σ qn		
	Dimensões [cm]	Área Efectiva [m2]	1	2	3	4	5	Velocidade Média vm	1	2	3	4	5			
			v1	v2	v3	v4	v5		< q1	< q2	< q3	< q4	< q5			
DT1	-														-	Valor?
DT2	-														-	Valor?
DT3	-														-	Valor?
DT4	-														-	Valor?
GPI1	-														-	Valor?
GPS1	-														-	Valor?
GPI2	-														-	Valor?
GPS2	-														-	Valor?
GPI3	-														-	Valor?
GPS3	-														-	Valor?
GPI4	-														-	Valor?
GPS4	-														-	Valor?
-	-														-	
-	-														-	
-	-														-	
-	-														-	
-	-														-	
-	-														-	
-	-														-	
-	-														-	
-	-														-	
-	-														-	
													Técnico do Ensaio (Nome / nº Mec):			
Legenda: (vm) - média das velocidades; (qt) - soma dos caudais; (1) - locais identificados na Planta (página 1) e nos Quadros dos "Registos" (página 1 e página 2)																

Tabela C3 - Folha de registo de microbiologia

Nº Relatório: <input type="text"/>		Técnico Ensaio (Nome/Nº mec): <input type="text"/>	
Mostrador de Ar utilizado: <input type="text"/>	Data: <input type="text"/>		Volume de Ar da amostra (L): <input type="text"/>
Identificação de amostras:			
TIPO DE AMOSTRA	CÓDIGO DA AMOSTRA	IDENTIFICAÇÃO DO PONTO/LOCAL/ AMOSTRA	ANÁLISES ¹
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
<input type="checkbox"/> Ar interior <input type="checkbox"/> Ar exterior <input type="checkbox"/> Ar branco <input type="checkbox"/> Superfície (Zaragatoa) Água (<input type="checkbox"/> Consumo <input type="checkbox"/> Processo) <input type="checkbox"/> Rega <input type="checkbox"/> Outro: _____		Hora: _____ CO ₂ (ppm) = _____	Bactérias (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Fungos (<input type="checkbox"/> com <input type="checkbox"/> sem identificação de espécie) Legionella (<input type="checkbox"/> PCR <input type="checkbox"/> Cultura <input type="checkbox"/> PCR+Cultura ²) <input type="checkbox"/> Inspeção <input type="checkbox"/> Rotina 1 <input type="checkbox"/> Rotina 2 <input type="checkbox"/> Outro: _____
Notas durante o Ensaio: _____		Testemunho: _____	Hora/min Colheita: _____ Temperatura: _____ Hora/min Entrega: _____ Temperatura: _____
Receção feita por: _____		Laboratório de Análises: _____	
		Data e Hora: _____	
Notas: ¹ Análise do Ar (Bactéria a 36°C + Fungos 22°C); Análise das Superfícies (Bactéria a 22°C + Fungos 22°C); Análise de Água (microrganismos viáveis - número de colónias a 22°C e a 36°C); ² Se positivo no PCR, avançar para Cultura			

Anexo D – Equipamentos QAI e SL



Figura D1: Lighthouse Handheld Modelo 3016 - IAQ.



Figura D2: VWR SAS Super DUO 360.



Figura D3: KIMO AMI 310.



Figura D4: Graywolf Indoor Air Quality Meters.



Figura D5: Riken Keiki – FP 31.



Figura D6: Lighthouse PC Solair - 3100.



Figura D7: Balometer DBM610.



Figura D8: Tyvek e proteção dos pés.