



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Leandro António Santos Tira-Picos

**VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DA EFICIÊNCIA
DA VEDAÇÃO AERODINÂMICA DE UM
DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL
INOVADOR**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, na especialidade de Energia e Ambiente, orientada pelo Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar e pelo Professor Doutor Nuno Cláudio Ferreira Rosa, e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Setembro de 2022

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Validação experimental da eficiência da vedação aerodinâmica de um dispositivo de proteção individual inovador

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Experimental validation of the aerodynamic sealing efficiency of an innovative personal protection device

Autor

Leandro António Santos Tira-Picos

Orientadores

Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Nuno Cláudio Ferreira Rosa

Júri

Presidente	Professor Doutor José Joaquim da Costa Professor Associado da Universidade de Coimbra
Orientador	Professor Doutor Nuno Cláudio Ferreira Rosa Professor Auxiliar Convidado da Universidade de Coimbra
Vogais	Professor Doutor Miguel Rosa Oliveira Panão Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Coimbra, Setembro, 2022

Pain is temporary, victory is forever

Be the change you want to see in the world

Mahatma Gandhi

O avô só quer que vocês sejam uns homens

Francisco Tira-Picos

Aos meus avós

Agradecimentos

Primeiro que tudo gostaria de agradecer aos meus orientadores, ao professor Adélio Gaspar, e ao Professor Nuno Rosa por toda a ajuda prestada para a elaboração desta dissertação. Quero ainda agradecer a todos os docentes e não docentes que me acompanharam ao longo destes cinco anos da minha vida.

Quero agradecer à minha família, em especial pais, irmão e avós, por todo o esforço que fizeram ao longo destes cinco anos para que pudesse levar o curso avante. Sem eles nada teria sido possível. Agradeço mesmo do fundo do coração tornarem isto possível.

Um agradecimento muito especial à minha namorada por ter toda a paciência necessária para mim. Agradecer tudo o que tem feito por mim, todo o amor que me tem dado, desde sempre, e principalmente nestes últimos meses.

Ao Afonso, ao Bruno, ao José, e ao André, foram sem dúvidas os melhores companheiros que podia ter pedido para me acompanharem nesta jornada da minha vida. Foram sem qualquer dúvida um grande apoio em todos os aspetos e que levo comigo para a vida.

A todos os membros do grupo “Não idosos” que são a minha segunda família. Não tiveram impacto na minha vida académica, mas têm todo o impacto na minha vida pessoal. Obrigado por me fazerem esquecer os problemas universitários quando eu mais precisava. Obrigado por tudo.

Por fim deixo um agradecimento a todos os membros da residência universitária Polo 2-I que tive o privilégio de partilhar a vida durante estes cinco anos.

A todos um enorme Muito Obrigado.

This work was funded by FEDER - European Regional Development Funds through the operational program Centro 2020 of Portugal 2020 according to Support System for Scientific and Technological Research (SAICT) in the framework of the project “VV4MC – A new type of ventilated visor for medical care” (CENTRO-01-0145-FEDER-181248).



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

Resumo

Devido à pandemia, causada pela doença Covid-19, o mundo viu-se forçado a mudar muitos dos seus hábitos e costumes, a fim de se proteger e, em particular, os profissionais de saúde. Na prática da medicina dentária existe um elevado risco de infeção por agentes patogénicos durante os tratamentos dentários com equipamentos rotativos de alta velocidade, que estão em contato direto com saliva/sangue potencialmente contaminado.

Com a finalidade de desenvolver um Equipamento de Proteção Individual (EPI) destinado à proteção destes médicos, a empresa SETsa em conjunto com a ADAI e a UC desenvolveram um protótipo de viseira de proteção no âmbito do projeto MASK4MC. Este EPI consiste numa viseira com uma cortina de ar com a finalidade de oferecer uma vedação aerodinâmica de todo o seu contorno, sendo capaz de reduzir significativamente o risco de inalação de aerossóis e gotículas com carga viral.

O objetivo desta dissertação é a caracterização e validação experimental desta vedação. Para isso, foram realizados ensaios de velocidade e ensaios usando um gás traçado (CO_2) para determinar o Fator de Proteção (FP) deste EPI. Estes ensaios tiveram lugar no laboratório de Climatização do DEM. Para a realização destes ensaios foi utilizado um manequim térmico e um pulmão artificial com a finalidade de simular o comportamento humano. Nos ensaios de medição da velocidade dos jatos, foram definidos oito pontos da cortina de ar. Nos ensaios utilizando CO_2 , este gás foi injetado numa câmara estanque onde estava o manequim com o EPI colocado. Nestes ensaios foi também estudada a influência de uma esponja entre a testa do manequim e o EPI. Foi ainda estudado o efeito da pluma térmica humana e da respiração no valor de FP.

Considerando o efeito da pluma térmica e da respiração combinados, verifica-se um aumento do FP em cerca de 40%, face aos ensaios com manequim passivo. Por fim foi estudada uma configuração utilizando palas na zona lateral do EPI para melhorar o FP, proteção obtendo-se um valor superior a 70%.

Palavras-chave: Covid-19, EPI, Cortina de ar, Profissionais de saúde, Fator de proteção.

Abstract

The pandemic caused by covid-19 disease forced the world to change many of its habits and customs to protect itself, particularly the health care professionals. In the practice of dental medicine there is a high risk of infection by pathogens during dental treatments with high-speed rotating equipment, which are in direct contact with potentially contaminated saliva/blood.

In order to develop a new Personal Protective Equipment (PPE) for the protection of these physicians, SETsa company, ADAI, and the UC developed a prototype protection visor under the scope of the MASK4MC project. This PPE consists of a visor with an air curtain to offer an aerodynamic seal of its entire contour, able to significantly reduce the risk of inhalation of aerosols and droplets carrying a potential viral load.

The aim of this dissertation is the experimental characterization and validation of this seal. The experimental purpose was to measure the airflow velocity and the device PF. A tracer gas, CO₂, was used to calculate the PPE performance. These experiments took place in the DEM Air Conditioning Laboratory. A thermal mannequin and an artificial lung were used to simulate human behavior. The jet's velocity was measured at eight distinct points around the visor. In tracer gas experiments with CO₂, the gas was injected into an airtight chamber where the mannequin using the PPE was placed. In these trials, the influence of a sponge between the mannequin forehead and PPE was also studied. The effect of human thermal plume and breathing on the value of PF was also studied.

The combined effect of the thermal plume and breathing increases the PF by 40% compared to passive mannequin assays. Finally, a configuration was studied using physical seals in the lateral area of the PPE to improve the PF, obtaining a value greater than 70%.

Keywords: Covid-19, PPE, Air curtain, Health professionals, Protection factor.

Índice

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xiii
Acrónimos	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura da dissertação	2
2. Revisão de literatura	5
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	9
3.1. Manequim térmico	9
3.1.1. Pulmão artificial	10
3.2. Medição de velocidade	10
3.2.1. Sondas	12
3.2.2. Válvula reguladora de caudal	13
3.2.3. Sensores CO ₂	14
3.2.4. Sistema de injeção de CO ₂	14
3.2.5. Procedimento experimental para a medição de velocidade	15
3.3. Medição do Fator de Proteção	17
3.3.1. Estanquicidade da câmara de ensaios	18
3.3.2. Procedimento experimental para a medição do FP	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Resultados de medição de velocidade do ar	23
4.2. Medição do Fator de Proteção (FP)	32
4.2.1. Vedação superior com esponja	33
4.2.2. Sem vedação superior (sem esponja)	40
4.2.3. Otimização com vedação física lateral (Palas)	44
5. Conclusões	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
APÊNDICE A	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Representação protótipo: (a) constituintes; (b) numérico.	6
Figura 2.2. <i>Plenum</i> (vista de cima).....	7
Figura 2.3. <i>Plenum</i> (vista interior).	7
Figura 2.4. Representação (vista de baixo): (a) da localização dos jatos 1,2,3,4; (b) campos de velocidade dos jatos nas saídas 1,2,3,4.....	8
Figura 3.1. Manequim térmico “Maria”: (a) em pé; (b) sentado.....	9
Figura 3.2. Pulmão artificial.....	10
Figura 3.3. Pontos a medir: (a) vista lateral; (b) vista superior.	11
Figura 3.4. Sonda: (a) vista de cima; (b) vista aproximada da “cabeça” da sonda.....	12
Figura 3.5. Alimentação: (a) de uma sonda; (b) fonte multicanal.....	13
Figura 3.6. <i>Hardware</i> de aquisição/leitura de dados.	13
Figura 3.7. Válvula PFM711S-N02L-E-M da SMC.	14
Figura 3.8. Sistema de injeção de CO ₂	15
Figura 3.9. EPI perfurado nos pontos PV1, PV2, PV3, PV4.	15
Figura 3.10. Montagem das sondas de velocidade nos primeiros pontos: (a) vista lateral/frente; (b) vista de cima.....	16
Figura 3.11. Montagem das sondas de velocidade no segundo grupo de pontos: (a) vista lateral; (b) vista de frente.....	17
Figura 3.12. Manequim no interior da câmara de ensaios.....	18
Figura 3.13. Resultados experimentais do decaimento de CO ₂ (escala logarítmica).	19
Figura 3.14. Localização dos sensores CO ₂ : (a) zona de respiração; (b) superfície exterior EPI; (c) interior da câmara.	20
Figura 3.15. Representação das palas: (a) numérico; (b) experimental.....	21
Figura 3.16. Lista de ensaios para medição do FP realizados.	22
Figura 4.1. Resultados dos ensaios em condição “Normal”, para PV1, PV2, PV3 e PV4: (a) Velocidade do ar; (b) Intensidade de turbulência.....	24
Figura 4.2. Condição “Térmica” evolução primeiros quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de Turbulência.	25
Figura 4.3. Velocidade condição “Pulmão” (primeiros PV) para o caudal de 25 l/min (30 s).	26
Figura 4.4. Condição “Pulmão” evolução primeiros quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.....	27

Figura 4.5. Condição “Pulmão + Térmica” evolução primeiros quatro pontos:(a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.	27
Figura 4.6. Condição “Normal” evolução últimos quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.	28
Figura 4.7. Condição “Térmica” evolução últimos quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.	29
Figura 4.8. Evolução da velocidade dos últimos pontos (sem PV8): (a) “Normal”; (b) “Térmica”.....	29
Figura 4.9. Velocidade condição “Pulmão” (últimos PV) para o caudal de 25 l/min (30 s).	30
Figura 4.10. Condição “Pulmão” evolução últimos quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.	31
Figura 4.11. Condição “Pulmão + Térmica” evolução últimos quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.	31
Figura 4.12. Decaimento CO ₂ com esponja “Normal” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	33
Figura 4.13. Decaimento CO ₂ com esponja “Normal” 37 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	34
Figura 4.14. Decaimento CO ₂ com esponja “Normal” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	34
Figura 4.15. Decaimento CO ₂ com esponja “Térmica” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	35
Figura 4.16. Decaimento CO ₂ com esponja “Térmica” 37 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	35
Figura 4.17. Decaimento CO ₂ com esponja “Térmica” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	35
Figura 4.18. Decaimento CO ₂ com esponja “Pulmão” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	36
Figura 4.19. Decaimento CO ₂ com esponja “Pulmão” 37 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	36
Figura 4.20. Decaimento CO ₂ com esponja “Pulmão” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	37
Figura 4.21. Decaimento CO ₂ com esponja “Pulmão + Térmica” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	37
Figura 4.22. Decaimento CO ₂ com esponja “Pulmão + Térmica” 37 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	38
Figura 4.23. Decaimento CO ₂ com esponja “Pulmão + Térmica” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).	38

Figura 4.24. Decaimento CO ₂ com esponja “Normal” valores inferiores: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	39
Figura 4.25. Decaimento CO ₂ com esponja “Pulmão + Térmica” 20 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	39
Figura 4.26. Decaimento CO ₂ sem esponja “Normal” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	40
Figura 4.27. Decaimento CO ₂ sem esponja “Normal” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	41
Figura 4.28. Decaimento CO ₂ sem esponja “Normal” 20 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	41
Figura 4.29. Decaimento CO ₂ sem esponja “Pulmão” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	42
Figura 4.30. Decaimento CO ₂ sem esponja “Pulmão” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	42
Figura 4.31. Decaimento CO ₂ sem esponja “Pulmão” 20 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	42
Figura 4.32. Decaimento CO ₂ sem esponja “Pulmão + Térmica” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	43
Figura 4.33. Decaimento CO ₂ sem esponja “Pulmão + Térmica” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	43
Figura 4.34. Decaimento CO ₂ sem esponja “Pulmão + Térmica” 20 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	44
Figura 4.35. Decaimento CO ₂ com palas “Normal” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	44
Figura 4.36. Decaimento CO ₂ com palas “Pulmão + Térmica” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).....	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Coordenadas dos pontos a medir.	12
Tabela 4.1. Valores do FP (%) para todos os ensaios realizados	46

ACRÓNIMOS

ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

β -Cov – Beta Coronavírus

CFD – *Computer Fluid Dynamics*

COVID-19 – *Coronavirus Disease 2019*

CO₂ – Dióxido de Carbono

FP – Fator de Proteção

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

EPI – Equipamento de Proteção Individual

MASK4MC – Mask for Medical Care

OMS – Organização Mundial de Saúde

SETsa – Simultaneous engineering technology

2019-nCov – Novo coronavírus de 2019

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto MASK4MC - “Mask For Medical Care”. O foco principal desta dissertação de mestrado foi a obtenção de resultados experimentais para validação de modelos numéricos, bem como algum trabalho de otimização do EPI (Equipamento de Proteção Individual). Todo este trabalho foi desenvolvido no laboratório de Climatização do DEM (Departamento de Engenharia Mecânica).

1.1. Enquadramento

No final do ano de 2019 na cidade de Wuhan (China) apareceu um surto de pneumonia causada pelo vírus β -Cov (beta coronavírus). Este vírus teve uma grande propagação mundial. A 12 de janeiro de 2020 a OMS (Organização Mundial de Saúde) denominou este vírus de 2019-nCov (novo coronavírus de 2019). Mais tarde, a 11 de fevereiro de 2020, o novo coronavírus foi denominado por SARS-CoV-2, responsável pela doença COVID-19 (*Coronavirus Disease 2019*)[4].

Devido à sua grande facilidade de propagação este novo vírus tornou-se uma ameaça mundial. A 30 de janeiro de 2020, a OMS decretou esta nova doença como uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional, que corresponde ao nível mais elevado de alerta da OMS[4]. A COVID-19 não tem uma taxa de mortalidade muito elevada [5], mas, como foi mencionado anteriormente, a sua transmissibilidade é elevadíssima. Devido a isto, mesmo com uma taxa de mortalidade baixa, como muita gente contrai esta doença o número de óbitos vai ser elevado.

Dentro do grupo dos profissionais de saúde, a Medicina Dentária tem um elevado risco de exposição do vírus. Estes médicos têm um maior risco de contágio da COVID-19 devido ao contato direto e evasivo com os seus pacientes. O contato com os instrumentos utilizados para o tratamento dos pacientes bem como a sua saliva e/ou sangue aumentam significativamente o risco de contágio do vírus SARS-CoV-2. Durante os procedimentos realizados numa consulta de medicina dentária para o tratamento dentário dos pacientes, estes geram aerossóis que ficam suspensos no ar, que aumenta o risco de contágio de COVID-19 dos dentistas [6].

Assim, é necessário adaptar os protocolos de tratamento dentário para tratar os pacientes, sem colocar em risco o paciente e o médico. Não se pode ter só o foco de proteger os pacientes, tem de se ter de igual forma cuidados com os médicos dentistas. Assim sendo, há uma grande e urgente necessidade de desenvolver técnicas e equipamentos de proteção individual a serem utilizados na medicina dentária [7], [8].

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é a validação experimental do EPI. Essa validação foi feita em duas partes: medição de velocidades do ar; e medição de concentração de CO₂.

Primeiro foram realizados os ensaios de medição e velocidades do ar. Nestes ensaios mediu-se a velocidade da cortina de ar em oito pontos distintos e em quatro situações distintas (estas situações irão ser apresentadas no capítulo 3). Estes oito pontos foram medidos por duas fases, ou seja, quatro pontos de cada vez. Estes ensaios foram realizados para cumprir o objetivo de validar a cortina de ar.

Posteriormente foram então realizados os ensaios de CO₂. Estes ensaios também foram realizados em quatro situações distintas e com algumas alterações na disposição do EPI na face do utilizador. Os ensaios de CO₂ tiveram a finalidade de validar os resultados obtidos numericamente para o FP.

Em ambos os ensaios (velocidade e FP) havia o objetivo de estudar a influência da respiração humana e da pluma térmica. Havia ainda o objetivo de estudar a influência de uma esponja na parte superior do *plenum*.

Por fim foi testada uma situação de otimização onde se melhorava o isolamento da viseira com a face na zona lateral. Esta situação foi testada através de ensaios utilizando CO₂ (iguais aos realizados anteriormente).

1.3. Estrutura da dissertação

Neste capítulo introdutório apresentou-se um enquadramento e os objetivos desta dissertação, bem como uma breve descrição da metodologia de trabalho. No capítulo 2 está a revisão de literatura No capítulo 3 irá ser apresentado o procedimento experimental realizado e os respetivos equipamentos utilizados. No capítulo 4 vão ser apresentados e discutidos os resultados obtidos pelo procedimento experimental descrito no capítulo 3. E,

por fim, no capítulo 5 irão ser tiradas as conclusões e serão feitas algumas sugestões de melhoria e continuidade do trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

De forma a proteger os dentistas de partículas potencialmente contaminadas forma desenvolvidos alguns EPI. Clack e sua equipa desenvolveram um EPI

Clack em [9] diz que quer ir além do que se conhece como padrões para as proteções respiratórias, como máscaras N95, máscaras de pano e golas para o pescoço que foram usadas em 2020. Mencionou ainda que todos estes equipamentos dependem do método convencional de filtração de partículas. Menciona ainda que está a estudar um paradigma totalmente diferente (cortina de ar).

As máscaras convencionais têm ainda o problema do desconforto gerado pela concentração acumulada de CO₂, pressão do ar, e de criar humidade dentro da máscara, o que reduz a eficiência da sua permeabilidade [6]

As viseiras já existentes fornecem uma barreira aos sprays de aerossóis expelidos pelo ser humano a falar, a tossir e a espirrar. Funcionam como uns ósculos de proteção, mas com uma área de superfície maior [10]. Por sua vez, para proteger de partículas já suspensas no ar, as viseiras não têm grande influência, pois estas vão entrar pela parte inferior e lateral da viseira para a zona de respiração na mesma. Em utilizações médicas (como por exemplo dentistas) as viseiras são combinadas com máscaras (N-95) para garantir uma melhor proteção [10].

As cortinas de ar são também uma forma de proteção. Uma cortina de ar a passar junto da cara reduz a concentração de gases e de aerossóis presentes no ambiente perto da cara. Os fatores que influenciam a eficiência da cortina de ar são a velocidade do ar, o ângulo de incidência na face e a distância à face [11].

Como foi mencionado no subcapítulo 1.1 há uma necessidade urgente de desenvolver técnicas e equipamentos para a proteção dos dentistas e dos pacientes. Posto isto, este projeto foca-se essencialmente na proteção dos médicos dentistas, tendo com principal objetivo o desenvolvimento de um EPI que proteja os dentistas do contágio pelo SARS-CoV-2.

O EPI desenvolvido consiste numa viseira dotada de um sistema de ventilação, cujo protótipo está representado na Figura 2.1. O EPI consiste numa viseira com um *plenum* no seu topo (junto da testa do utilizador). É este *plenum* que distribui e insufla o ar para a cortina de ar. O *plenum* por sua vez é alimentado por um tubo que está ligado a uma fonte de ar

comprimido. Temos ainda o sistema de suporte para garantir a estabilidade da viseira na face do utilizador.

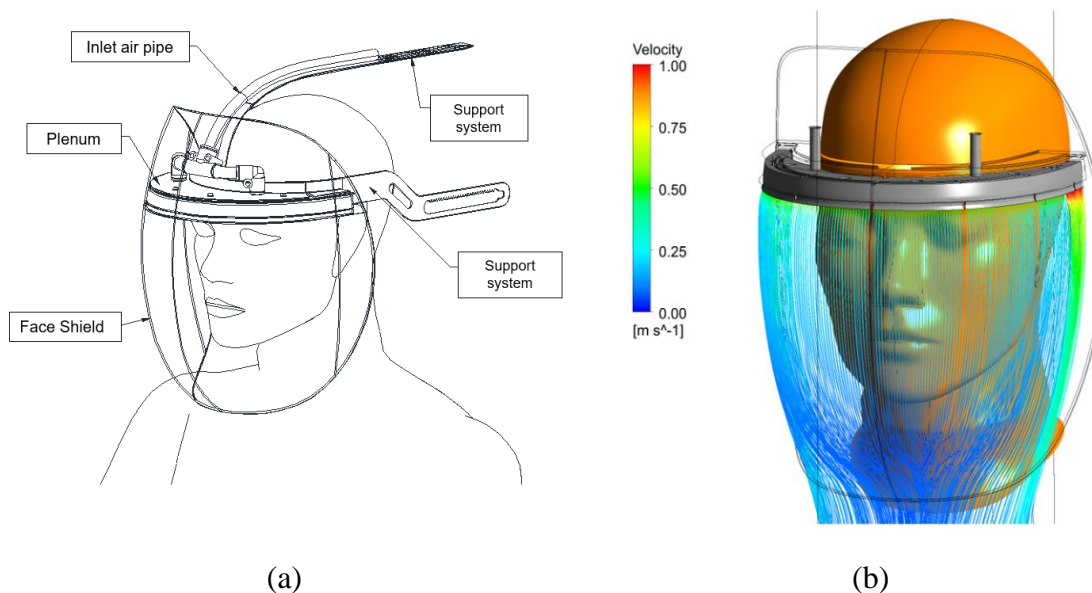


Figura 2.1. Representação protótipo: (a) constituintes; (b) numérico.

Uma das principais características deste EPI é a cortina de ar estar sempre colada à superfície interior da viseira (escoamento parietal). Esta característica difere do que já foi feito anteriormente com cortinas de ar, como por exemplo em [9], [11]. Como foi referido nesta secção a eficácia da cortina de ar depende da velocidade, da inclinação e da distância da mesma à face do utilizador. De acordo com [11] a cortina de ar tem melhor Fator de Proteção (FP) se passar próxima da zona de respiração (nariz e boca). Apesar de ser mais eficaz esta cortina tem uma grande desvantagem, o desconforto. Este desconforto ocorre devido ao facto de o escoamento de ar passar junto da face do utilizador gerando secura nos olhos, nariz e boca. Gera também desconforto devido à intensidade de turbulência criada pelos jatos de ar na pele. Este desconforto está diretamente relacionado com a incidência, velocidade e intensidade de turbulência do ar da cortina de ar na face. O aumento da velocidade dos jatos de ar e da intensidade de turbulência do escoamento geram ainda maior desconforto.

No EPI desenvolvido pelo projeto MASK4MC um dos objetivos é ter o mínimo de desconforto possível pois, de outra forma, por muito que seja eficiente, é impossível o utilizador usar o EPI devido ao desconforto facial gerado. Sendo assim, foi desenvolvido um

plenum para que a cortina de ar esteja colada à viseira minimizando assim o desconforto tendo resultados bastante satisfatórios como mostra no capítulo 4.

O *plenum* desenvolvido neste projeto está representado nas Figura 2.2 e Figura 2.3

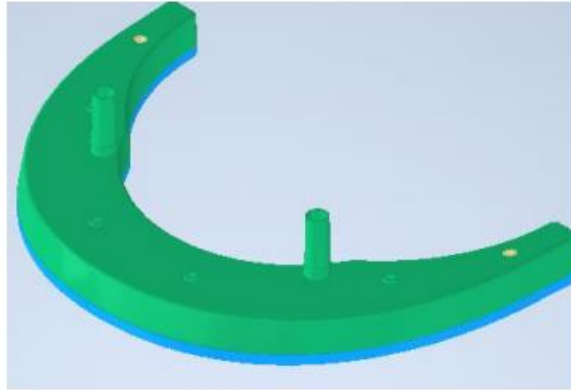


Figura 2.2. *Plenum* (vista de cima)

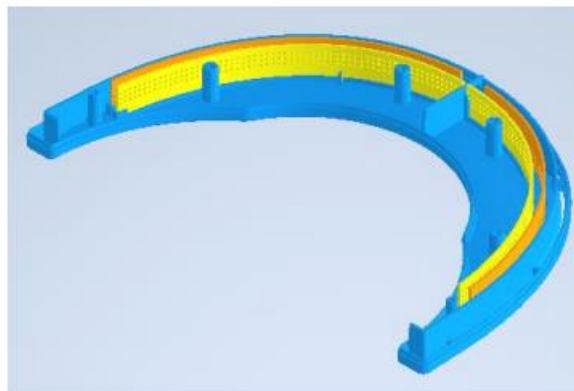


Figura 2.3. *Plenum* (vista interior).

Na Figura 2.4(b) é possível ver como fica a distribuição das velocidades em metade do *plenum* (a outra metade é igual, pois o *plenum* é simétrico). Observa-se que a velocidade no interior do *plenum* é relativamente uniforme ao longo do *plenum*. Isto deve-se ao facto de as perdas de carga serem iguais devido à utilização de dois filtros perfurados (representados a laranja e amarelo na Figura 2.3) que permitem ter um controle da direção dos jatos de ar e igualar a perda de carga na saída dos jatos. Com o controle da direção e da velocidade dos jatos de ar consegue-se ter então a cortina de ar colada a superfície interior da viseira.

No *plenum* (metade) temos quatro zonas de saída de ar, o jato 1, jato 2, jato 3 e jato 4 como podemos ver na Figura 2.4 (a).

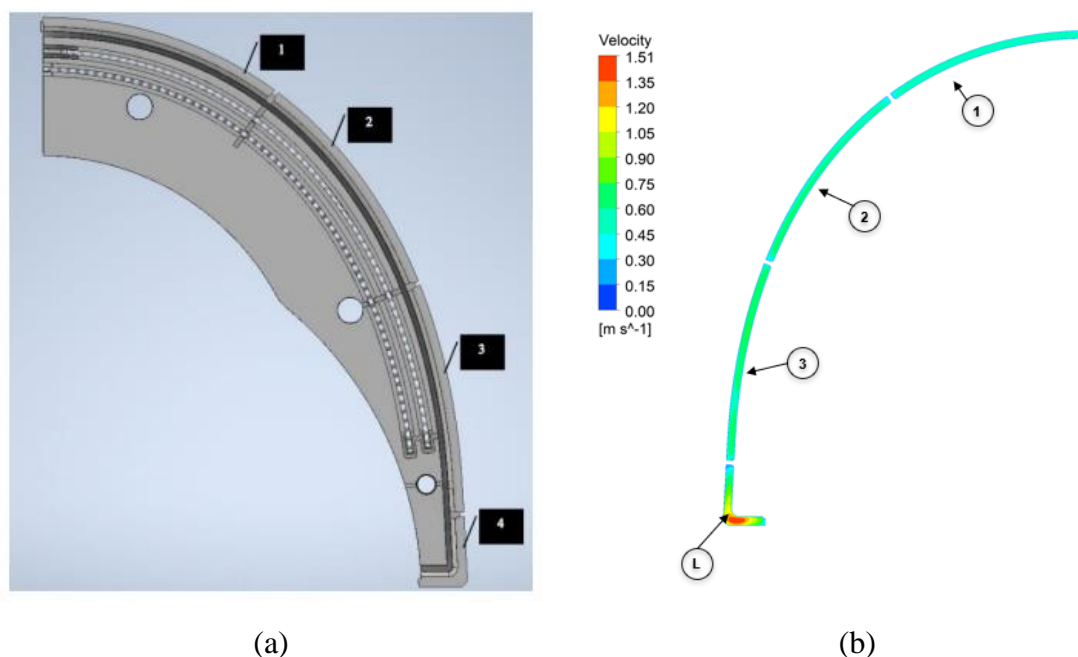


Figura 2.4. Representação (vista de baixo): (a) da localização dos jatos 1,2,3,4; (b) campos de velocidade dos jatos nas saídas 1,2,3,4.

Na Figura 2.4 (b) observa-se as velocidades na saída do *plenum*. É possível verificar que nas zonas 1, 2 e 3 a velocidade é muito semelhante, devido ao facto de as perdas de carga serem também muito semelhantes, como foi referido anteriormente neste capítulo. Por sua vez na zona 4 (representada com a letra L na Figura 2.4 (b)) a velocidade é bastante diferente. A velocidade neste jato é diferente pois, como se observa na Figura 2.3, os filtros perfurados não chegam a essa zona *plenum*. Sendo assim, o ar nesta zona não tem qualquer obstáculo tornando assim a sua velocidade de saída mais elevada como se observa na Figura 2.4 (b). Durante o desenvolvimento do EPI MASK4MC, a velocidade e o ângulo de saída do jato 4 foram dimensionados para conseguir vedar a parte lateral da face do utilizador, e conseguir vencer o efeito de sucção gerado pelos jatos 1,2 e 3.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No presente capítulo aborda-se o procedimento experimental utilizado, descrevendo-se o protótipo de viseira com cortina de ar desenvolvido no projeto MASK4MC, a instalação laboratorial, a instrumentação usada, e os procedimentos dos ensaios de medição da velocidade da cortina do ar e de avaliação do Fator de Proteção através dos ensaios com CO₂.

3.1. Manequim térmico

Para segurar a viseira e criar condições geométricas, e dos fenómenos de interação da respiração e da pluma térmica representativos de uma pessoa, utilizou-se o manequim térmico “Maria” que está representado na Figura 3.1. As imagens da Figura 3.1 foram retiradas de [13].



Figura 3.1. Manequim térmico “Maria”: (a) em pé; (b) sentado.

Esta manequim reproduz o processo de regulação térmica do corpo humano para situações de ambientes moderados, com recurso a um enrolamento de fio de níquel distribuído por toda a sua superfície, e que se encontra dividida em 16 secções. O manequim está por sua vez ligado a um sistema de monitorização e controlo, que usa os enrolamentos de níquel com a dupla função de termo-resistência, para estimar a temperatura da superfície, e de resistência elétrica, para aquecer a superfície do manequim térmico. A temperatura da pele humana difere das zonas do corpo, há zonas corporais mais frias e outras mais quentes.

O valor médio desta temperatura varia entre os 32°C e os 34°C [14]. Para a realização do presente estudo foi definida uma temperatura da “pele” da Maria a 33°C, que é considerado o valor de referência da superfície do corpo humano em condições de ambientes térmicos e atividade moderados.

3.1.1. Pulmão artificial

O manequim está dotado da capacidade de lhe ser ligado um pulmão artificial, para simular a respiração humana. A Figura 3.2 apresenta uma foto do pulmão artificial utilizado. Este pulmão pretende simular as condições reais da respiração humana. Isto é, inspiração pelo nariz e expiração pela boca, sendo o caudal de ar inspirado igual ao que é expirado. No pulmão artificial utilizado podemos alterar o caudal de ar respirado (l/min), bem como a frequência de respiração (número de respirações por minuto). Estes dois fatores dependem de vários parâmetros, desde a atividade física, a idade, o estado de saúde, etc. Para a realização destes ensaios foi considerado um indivíduo saudável com atividade física ligeira. Um indivíduo nestas condições respira um volume de ar de 8.4 l/min com uma frequência de respiração de dezassete vezes por minuto [15].



Figura 3.2. Pulmão artificial.

3.2. Medição de velocidade

Para permitir uma adequada caracterização da cortina de ar e validação dos modelos numéricos de CFD, os ensaios de medição da velocidade da cortina de ar foram realizados em diversas condições em oito pontos distintos.

Estes ensaios foram realizados em quatro condições distintas. As situações foram as seguintes:

- **Normal:** manequim passivo, apenas sujeito à temperatura ambiente, ou seja, completamente desligado quer do pulmão artificial quer da parte que gera a pluma térmica. Assim, nesta condição o manequim só está sujeita às condições do local de ensaio;
- **Pulmão:** a componente térmica do manequim está desligada, e colocou-se o pulmão artificial a funcionar nas condições referidas em 3.1.1. Deste modo podemos tirar conclusões sobre a influência da respiração na cortina de ar;
- **Térmica:** a componente térmica do manequim está ligada nas condições referidas em 3.1, e o pulmão artificial manteve-se desligado. Nestas condições o objetivo é avaliar ao efeito da pluma térmica humana no escoamento da cortina de ar;
- **Pulmão + Térmica:** componente térmica do manequim e pulmão artificial ligados. Corresponde à condição mais próxima de um ser humano, considerando o efeito combinado da pluma térmica e da respiração na cortina de ar;

Os pontos medidos estão representados na Figura 3.3, e na Tabela 3.1 estão representadas as correspondentes coordenadas dos pontos onde vão ser medidas as velocidades da cortina de ar. Estas coordenadas foram obtidas através do modelo CAD utilizado nas simulações em ANSYS CF. Através destas coordenadas e do programa Inventor foi possível fazer medições e marcar na viseira os pontos de interesse.

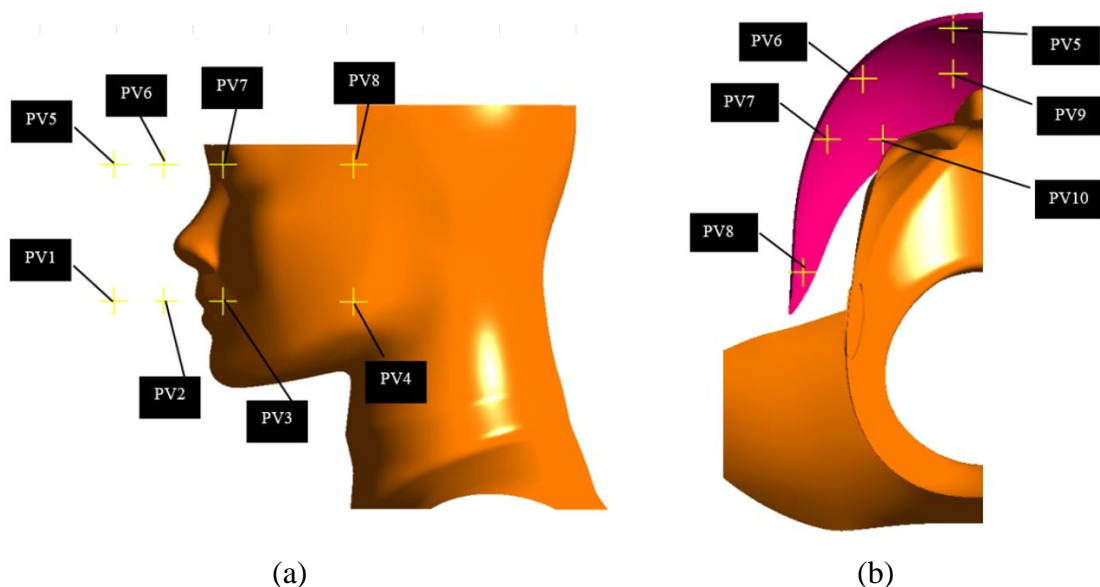


Figura 3.3. Pontos a medir: (a) vista lateral; (b) vista superior.

Tabela 3.1. Coordenadas dos pontos a medir.

Pontos a medir	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8
x[m]	0.015	0.06	0.078	0.09	0.015	0.06	0.078	0.09
y[m]	0.025	0	-0.03	-0.096	0.025	0	-0.03	-0.096
z[m]	0.114	0.114	0.114	0.114	0.045	0.045	0.045	0.045

3.2.1. Sondas

As sondas (termoanemômetros) utilizadas nos ensaios são o modelo HT-428 marca Sensor. Estas sondas medem velocidades entre 0.05 m/s e 5 m/s e estão representadas na Figura 3.4.



(a)



(b)

Figura 3.4. Sonda: (a) vista de cima; (b) vista aproximada da "cabeça" da sonda.

Cada sonda tem uma caixa de alimentação (Figura 3.5 (a)), que por sua vez está ligada a uma fonte de alimentação multicanal (Figura 3.5 (b))

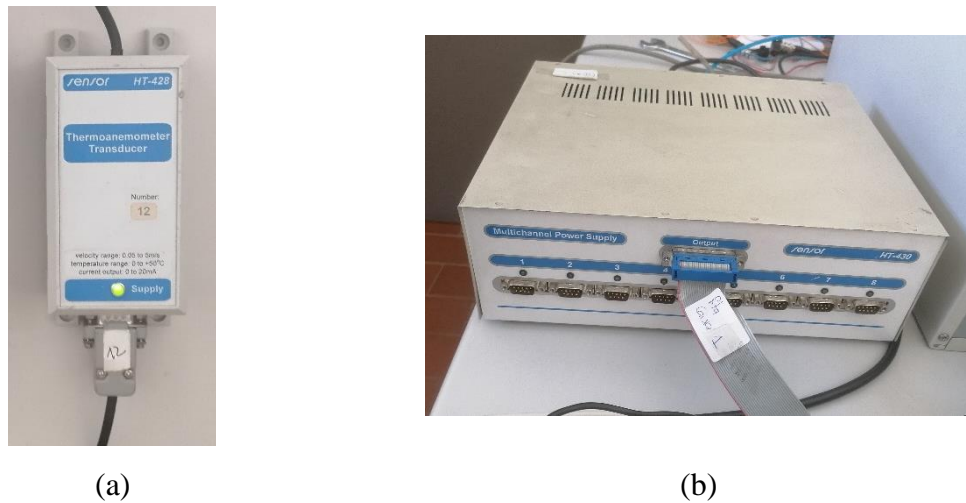


Figura 3.5. Alimentação: (a) de uma sonda; (b) fonte multicanal.

A fonte de alimentação multicanal recebe a informação das sondas e transmite-a a uma placa de aquisição (Figura 3.6), necessária para que esta informação possa ser lida por um programa de aquisição de dados. Para a aquisição de dados foi utilizado um programa feito no “*Test Point*”, desenvolvido para trabalhos de investigação, que faz o registo num ficheiro de texto.

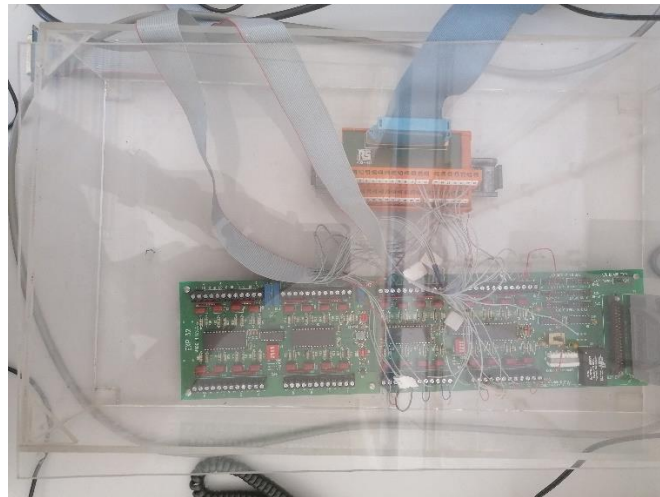


Figura 3.6. Hardware de aquisição/leitura de dados.

3.2.2. Válvula reguladora de caudal

Para medir o caudal de ar que entra no *plenum* foi utilizada uma válvula reguladora de caudal. A válvula utilizada foi a PFM711S-N02L-E-M da SMC.

A aquisição desta válvula foi feita durante o trabalho desta dissertação. Esta válvula mede caudais de gases entre 2 l/min e 100 l/min.



Figura 3.7. Válvula PFM711S-N02L-E-M da SMC.

3.2.3. Sensores CO₂

Os sensores utilizados para medir a concentração de CO₂ foram os *Colswhe VOC logger*. Estes sensores permitem medir a concentração de CO₂ bem como a luminosidade, humidade relativa, temperatura e pressão. Neste caso, apenas era necessário medir a concentração de CO₂ e os sensores têm uma sensibilidade de 20 ppm.

Estes sensores ligam-se ao computador através de uma ligação USB, tendo sido utilizado para leitura dos dados um *software* desenvolvido em *LabView*. Este *software* permitia ler e registar os dados obtidos pelos sensores.

3.2.4. Sistema de injeção de CO₂

Para injetar CO₂ dentro da câmara foi utilizado o sistema representado na Figura 3.8. O sistema consiste em injetar na câmara onde estava a Maria CO₂ proveniente de um extintor através de uma electroválvula. O CO₂ entrava na câmara através de um pequeno tubo pela parte de baixo da câmara e era homogeneizado através de um ventilador. Todo o sistema observado na Figura 3.8 é o sistema elétrico necessário ao funcionamento da válvula e por consequente o sistema necessário à injeção de CO₂.



Figura 3.8. Sistema de injeção de CO₂.

3.2.5. Procedimento experimental para a medição de velocidade

Face ao número de sondas disponível, as medições foram realizadas em duas fases, agrupando quatro pontos de cada vez. Primeiro mediram-se os pontos inferiores (PV1, PV2, PV3, PV4) e, posteriormente, os restantes pontos (PV5, PV6, PV7, PV8) Adotou-se esta sequência para mitigar o efeito dos furos feitos para medir os pontos de cima no escoamento que chega aos pontos de baixo. Assim, primeiramente perfurou-se o EPI nos primeiros quatro pontos como demonstra a Figura 3.9.



Figura 3.9. EPI perfurado nos pontos PV1, PV2, PV3, PV4.

Depois de perfurado o EPI foram inseridas as sondas de velocidade nos respetivos orifícios. A Figura 3.10 apresenta fotografias da disposição das sondas para os ensaios de velocidade nos primeiros pontos de medição (PV1 a PV4).



Figura 3.10. Montagem das sondas de velocidade nos primeiros pontos: (a) vista lateral/frente; (b) vista de cima.

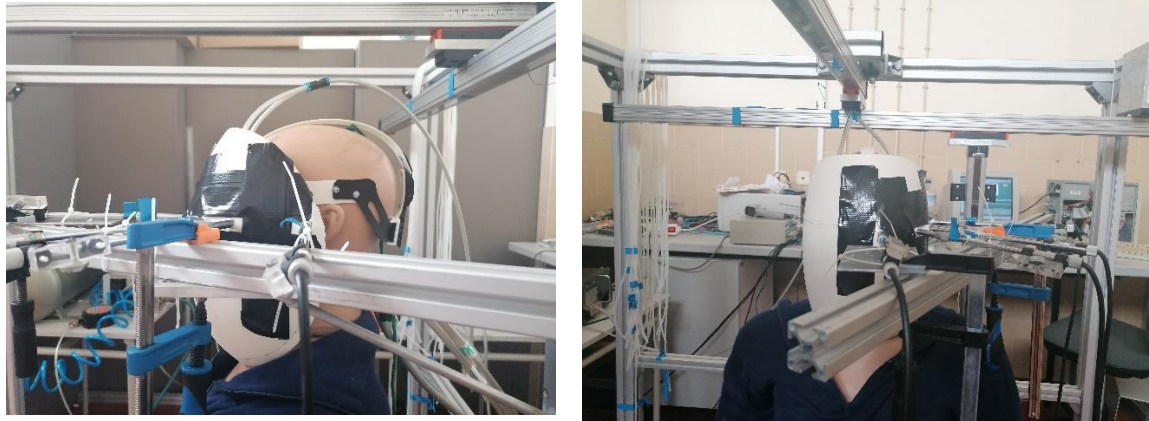
Depois das sondas estarem fixas nos respectivos pontos, iniciou-se a medição da velocidade do ar.

O caudal total de ar dimensionado para entrar no *plenum* é de 24.5 l/min [12], [16]. Devido à válvula utilizada só ter resolução à unidade l/min o valor escolhido foi o arredondamento por excesso, ou seja, o valor de caudal de ar nos ensaios foi ajustado para 25 l/min. Este valor é o valor para o qual o EPI foi dimensionado, mas para uma maior análise do comportamento da cortina de ar foram medidas as velocidades para os caudais de 30 l/min, 35 l/min, 40 l/min, 45 l/min, 50 l/min. Ou seja, intervalos de 5 l/min até chegar ao dobro do valor dimensionado.

As medições foram feitas durante cinco minutos para os valores de 25 l/min e 50 l/min, e durante dois minutos para os restantes valores de caudal. Durante esse tempo os valores da velocidade foram registados a cada segundo, ou seja, para 25 l/min e para 50 l/min foram tiradas trezentas amostras e para os restantes valores de caudal foram tiradas cento e vinte amostras.

Depois de realizados todos os ensaios para os pontos PV1, PV2, PV3, PV4 foram tapados os orifícios destes pontos. De seguida foram realizados no EPI os furos para os pontos PV5, PV6, PV7, PV8. Através do mesmo procedimento que foi feito para os primeiros pontos foram então fixadas as sondas como mostra na Figura 3.11 (salientar que a vista de cima destes pontos é semelhante à vista de cima dos primeiros pontos, Figura 3.10, visto que a única coordenada que muda é a altura destes pontos). Com tudo assembled

procedeu-se utilizando exatamente a mesma metodologia que foi feita nos primeiros pontos. Os resultados e respetiva discussão estão representados no capítulo 4.



(a)

(b)

Figura 3.11. Montagem das sondas de velocidade no segundo grupo de pontos: (a) vista lateral; (b) vista de frente.

3.3. Medição do Fator de Proteção

Para a medição do FP foram feitos ensaios com a Maria dentro de uma câmara como mostra a Figura 3.12. Foi injetado CO_2 para o interior dessa câmara e depois foi ligada a cortina de ar do EPI. O FP é a percentagem de CO_2 que a cortina de ar consegue remover da zona de respiração em relação ao exterior do EPI.



Figura 3.12. Manequim no interior da câmara de ensaios.

3.3.1. Estanquicidade da câmara de ensaios

Como foi dito em 3.3, para a realização dos ensaios para a determinação do FP, a Maria foi colocada dentro de uma câmara, para se injetar CO₂ e, assim, elevar a concentração de CO₂. Para que estes resultados sejam credíveis é essencial que a câmara tenha um nível de estanquicidade elevado, que não influencie os resultados. Assim, foram feitos ensaios para avaliar a estanquicidade da câmara. Estes ensaios consistiam em injetar CO₂ para dentro da câmara e ver o decaimento da concentração de CO₂ ao longo do tempo. Nestes ensaios o manequim estava presente dentro da câmara ocupando um volume de 0,059 m³. Para homogeneização da concentração de CO₂ em toda a câmara foi utilizada uma pequena ventoinha no chão da câmara.

Como se pode observar no gráfico da Figura 3.13, existe um decaimento da concentração de CO₂, como seria expectável. Estes ensaios determinaram uma taxa de infiltração de ar de 0,047 h⁻¹, o que corresponde a 0,026 l/s de ar novo. Devido ao facto deste valor ser bastante baixo, admitiu-se que a câmara tem uma estanqueidade suficiente para não influenciar os resultados de avaliação do FP da viseira com a cortina de ar.

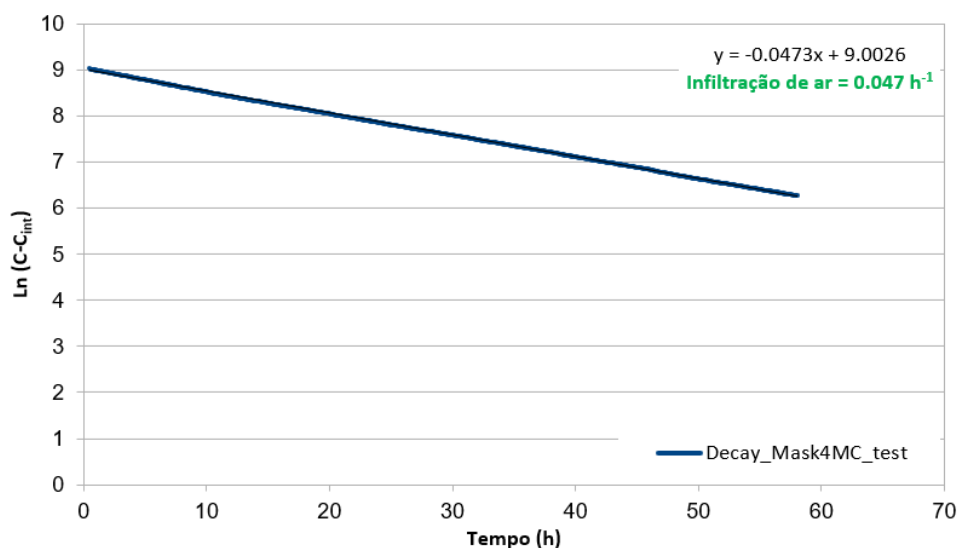


Figura 3.13. Resultados experimentais do decaimento de CO₂ (escala logarítmica).

3.3.2. Procedimento experimental para a medição do FP

Os ensaios para a determinação do FP foram inicialmente realizados utilizando uma esponja no contacto do *plenum* com a testa da Maria. Esta esponja foi utilizada pois na modelação numérica o *plenum* está totalmente em contacto com a testa, ou seja, o contorno do *plenum* tem a mesma forma da testa do manequim. Desta forma, no modelo numérico, as fugas de CO₂ nesta zona são nulas. Na prática isto não é possível, pois o *plenum* é rígido, ou seja, não é maleável logo não se ajusta na perfeição à testa da Maria. Assim sendo, observaram-se espaços vazios entre a testa do manequim e o *plenum* o que permitia que a passagem de ar nessas zonas. Para corrigir estas frestas foi então colocada uma pequena esponja entre o *plenum* e a testa da Maria.

Os ensaios foram realizados nas mesmas quatro condições em que foram realizados os ensaios de velocidade. Foram realizados ensaios nas condições “Normal”, “Pulmão”, “Térmica”, “Pulmão + Térmica”. As características destas condições estão descritas na secção 3.2. Foram ainda usados três valores de caudal de ar admitido no *plenum*. Os valores de caudal utilizados nos ensaios foram de 25 l/min, 37 l/min, e 50 l/min. O caudal de 25 l/min corresponde ao valor de dimensionamento e funcionamento do *plenum* (aproximação por excesso de 24.5 l/min). Usou-se o valor de 50 l/min por ser o dobro do valor dimensionado e o valor de 37 l/min por ser o valor intermédio dos dois valores anteriores (aproximação por defeito de 37.5 l/min). Inicialmente não foram utilizados caudais menores pois a cortina descola da viseira para valores inferiores a 24 l/min.

Foram medidas as concentrações de CO₂ em três zonas distintas, junto da zona de respiração, na superfície exterior da viseira e na parede da câmara. Para isto, foram utilizados três sensores de CO₂ como mostra na Figura 3.14.

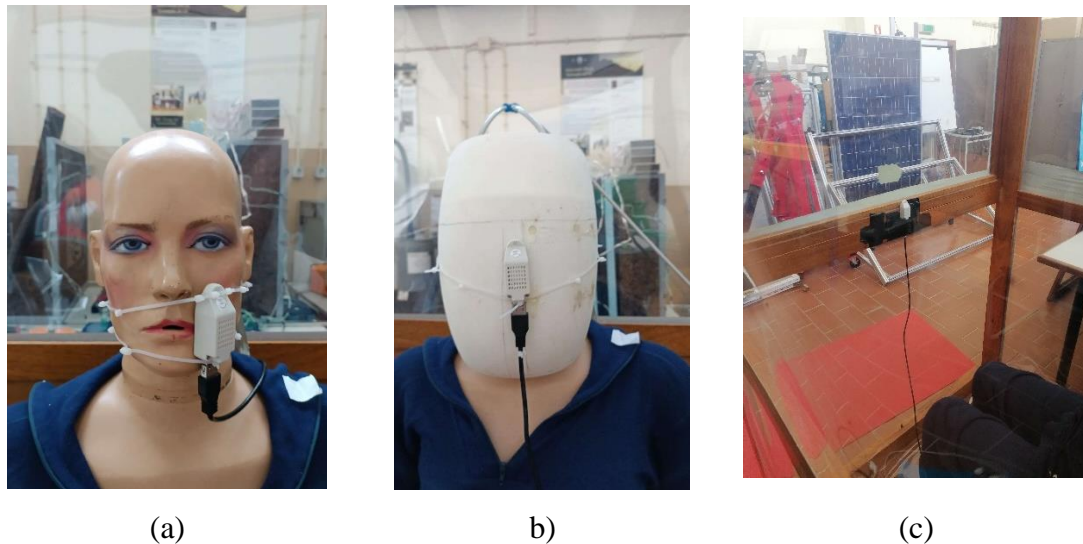


Figura 3.14. Localização dos sensores CO₂: (a) zona de respiração; (b) superfície exterior EPI; (c) interior da câmara.

Os ensaios consistiam em ter a Maria dentro da câmara com a concentração de CO₂ igual à concentração de CO₂ do laboratório (aproximadamente 600 ppm). Depois disso fechava-se a câmara e injetava-se CO₂ durante trinta e cinco segundos com o sistema de injeção de CO₂. Depois de injetado o CO₂ aguardava-se dez minutos para que a concentração de CO₂ homogeneizasse em toda a câmara recorrendo ao mesmo ventilador utilizado em 3.3.1. Passados os dez minutos a cortina de ar é ativada com o caudal pretendido. A cortina ficava ligada por mais vinte e cinco minutos e dava-se por terminado o ensaio. Para cada condição combinada com cada valor de caudal foram realizados dois ensaios, para garantir repetibilidade dos resultados medidos.

Concluídos estes vinte e quatro ensaios foi feito um estudo para saber se para valores de caudal mais baixos teríamos um melhor FP. Nestes ensaios foi injetado CO₂ durante trinta e cinco segundos e aguardou-se dez minutos para que o mesmo homogeneizasse na câmara da mesma forma que nos outros ensaios. Depois disto ligou-se a cortina de ar com um caudal de 25 l/min e foi-se diminuindo o caudal em 5 l/min a cada cinco minutos até desligar a cortina. De salientar que este ensaio foi feito duas vezes, mas apenas para a condição “Normal”.

Posteriormente, como originalmente não existia nenhuma esponja entre o *plenum* e a testa do manequim foram feitos ensaios sem a esponja. Estes ensaios foram exatamente realizados da mesma forma do que os ensaios com esponja. Foram realizados os ensaios nas seguintes condições: “Normal”, “Pulmão”, “Pulmão + Térmica”. Os caudais utilizados foram 25 l/min, 50 l/min e, também, 20 l/min que corresponde ao valor ótimo obtido nos resultados para velocidades inferiores. Combinando estas três condições com estes três caudais foram realizados dois ensaios para cada combinação. Os resultados dos ensaios realizados sem esponja são os resultados a utilizar para validação numérica pois, como foi dito anteriormente, na modelação em CFD não foi considerado nenhuma esponja, ou seja, não foram consideradas frestas.

Por fim, foi ainda estudada uma a colocação de palas na parte de trás da viseira, como mostra na Figura 3.15, para avaliar o seu efeito no aumento da estanquidade da viseira.

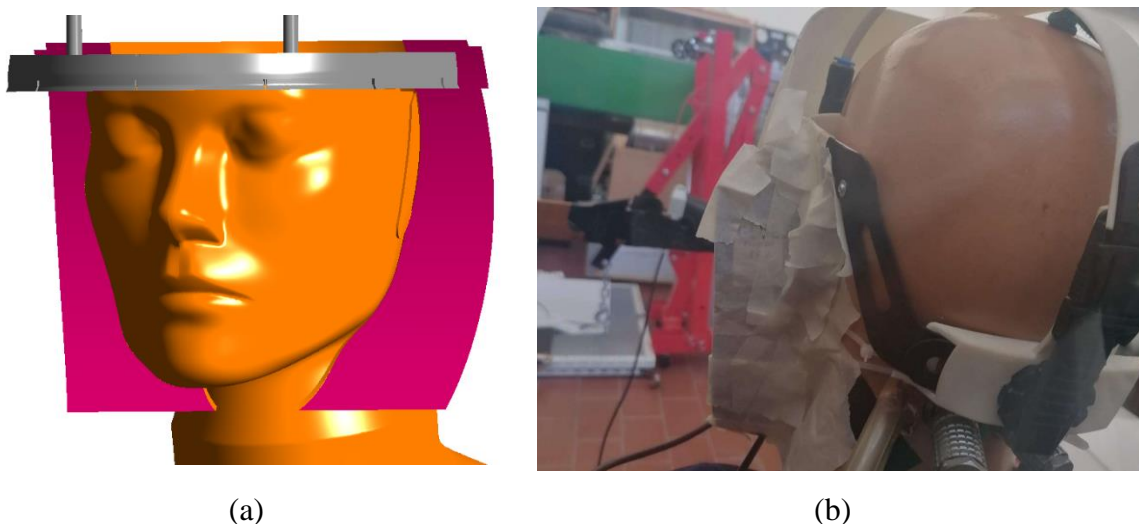


Figura 3.15. Representação das palas: (a) numérico; (b) experimental

Estas palas servem para isolar a parte de trás do EPI. Esta parte de trás é uma zona problemática pois a cortina de ar não consegue impedir a entrada por aquela zona do CO₂ presente na câmara. Na modelação realizada em CFD as colocações das palas dão um FP de 100%. Foram então realizados ensaios na condição “Normal” e na condição “Pulmão + Térmica” que é a condição que melhor aproxima o comportamento humano. O caudal inserido no *plenum* foi de 25 l/min que foi o caudal para o qual o EPI foi dimensionado. Este ensaio foi realizado duas vezes e o procedimento foi exatamente igual aos ensaios já realizados.

Na Figura 3.16 estão assinalados com um “x” todos os ensaios realizados.

	Caudal (l/min)	Com Esponja		Sem Esponja		Pala	
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
Normal	25	x	x	x	x	x	x
	50	x	x	x	x	-	-
	20	-	-	x	x	-	-
	37	x	x	-	-	-	-
Pulmão	25	x	x	x	x	-	-
	50	x	x	x	x	-	-
	20	-	-	x	x	-	-
	37	x	x	-	-	-	-
Térmica	25	x	x	-	-	-	-
	50	x	x	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-
	37	x	x	-	-	-	-
Pulmão+Térmica	25	x	x	x	x	x	x
	50	x	x	x	x	-	-
	20	x	x	x	x	-	-
	37	x	x	-	-	-	-

Figura 3.16. Lista de ensaios para medição do FP realizados.

Todos os resultados obtidos nos ensaios realizados (Figura 3.16) vão ser apresentados e discutidos no capítulo 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos pelo procedimento experimental descrito no Capítulo 3. Apresentam-se e discutem-se os resultados da medição de velocidade do ar, de medição do FP e, por fim, os testes de otimização do EPI com aplicação de uma vedação física com palas nas laterais.

4.1. Resultados de medição de velocidade do ar

Como foi referido na secção 3.2.5, foi medida a velocidade em oito pontos distintos. No subcapítulo 3.2.5 foi ainda referido que as medições foram realizadas em duas fases, com quatro pontos por fase. Para a apresentação e discussão dos resultados nesta secção, apresentam-se gráficos com os valores para uma mais fácil interpretação. Os dados obtidos experimentalmente são compilados em tabelas no Apêndice A.

Na Figura 4.1, Figura 4.2, Figura 4.4 e Figura 4.5 representa-se a média dos valores registados de velocidade do ar em função do caudal de ar inserido no *plenum*, para cada condição de ensaio, bem como a evolução da respetiva intensidade de turbulência.

Os valores de intensidade de turbulência apresentados foram calculados com através da equação,

$$Tu = \frac{|\sigma|}{|\bar{v}|} \quad (4.1)$$

em que Tu é a intensidade de turbulência, σ é o desvio padrão e \bar{v} a média das amostras de velocidade do ar [17].

Na Figura 4.1 (a) observa-se que a velocidade do ar aumenta quase sempre com o aumento do caudal. Isto é expectável pois quanto maior for o caudal de ar fornecido ao *plenum*, maior será o caudal de ar na cortina de ar. Observa-se que a velocidade do ar no PV4 é maior do que nos restantes pontos, justificado pela menor perda de carga imposta dentro do *plenum* na trajetória para esta zona de insuflação da cortina de ar associada ao PV4, como já referido no capítulo 2. Esta característica foi propositadamente criada no EPI para evitar o arrastamento lateral de ar exterior ao volume definido pela viseira e sua cortina de ar. É ainda possível observar que na passagem pelo valor de caudal de 45 l/min a velocidade de PV1 e PV3 diminui com o aumento do caudal, contrariamente ao que tinha

acontecido anteriormente, e contrariamente ao que está a acontecer com os outros pontos. Para perceber o que estaria a acontecer nestes pontos foi realizado um estudo da intensidade de turbulência através da equação (4.1). Os resultados deste estudo estão na Figura 4.1 (b). Nesta figura é possível observar que na passagem pelo caudal de 45 l/min a intensidade de turbulência do PV1 e PV3 aumenta de forma acentuada, principalmente no PV3. O aumento da intensidade de turbulência pode justificar a diminuição da velocidade, pois o aumento da intensidade de turbulência significa que há muitas oscilações no valor da velocidade e, conseqüentemente, a existência de maior vorticidade pode levar ao aumento da espessura da cortina de ar e à diminuição da velocidade e alcance do jato da cortina de ar. Também se verifica que para o valor de caudal superior a intensidade de turbulência volta a baixar e a velocidade volta a subir, como anteriormente.

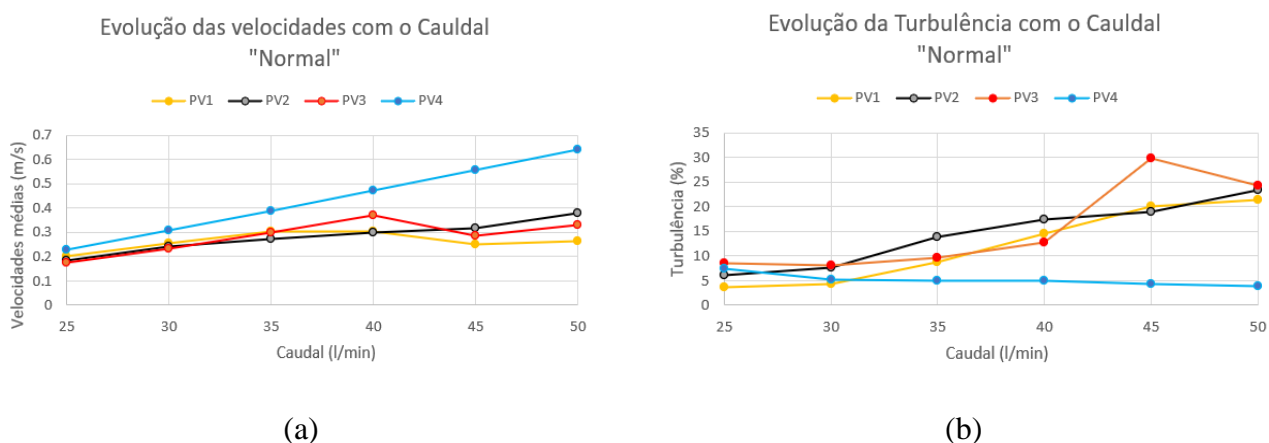


Figura 4.1. Resultados dos ensaios em condição “Normal”, para PV1, PV2, PV3 e PV4: (a) Velocidade do ar; (b)Intensidade de turbulência.

Na Figura 4.2 estão representados os resultados para a condição “Térmica”. Para esta condição podemos verificar que a evolução de velocidades tem um comportamento semelhante à evolução de velocidades da condição “Normal”, mas com velocidades ligeiramente mais baixas. A justificação para as velocidades serem ligeiramente mais baixas é devido ao efeito da pluma térmica da Maria. Como se sabe o ar quente sobe (convecção natural). A cortina de ar nesta situação está sujeita à pluma térmica da Maria que, embora não seja muito significativa, vai fazer com que o ar da cortina (que está a descer) perca um pouco de velocidade (cerca de 0.1 m/s). Assim, na zona do sensor vai registar-se uma menor velocidade do ar devido ao pequeno efeito da pluma térmica. A evolução da intensidade de turbulência é semelhante à evolução da intensidade de turbulência na condição “Normal”,

mas globalmente mais intensa. Também se verifica que na passagem pelos 35 l/min de caudal há uma subida acentuada da intensidade de turbulência para o PV3, que diminui ligeiramente para valores superiores de caudal de ar. Mais uma vez esta subida pode ser provocada por vórtices que faz com que a velocidade do ar volte a diminuir como anteriormente. Na passagem dos 45 l/min de caudal observa-se um comportamento semelhante à que foi descrita para a condição “Normal”. De salientar que sempre que a intensidade de turbulência aumenta, a velocidade do ar diminui. De destacar ainda que a intensidade de turbulência nesta condição é sempre ligeiramente maior que na condição “Normal” devido ao facto de ter a redução de velocidade provocada pelo impacto da subida do ar quente com os jatos. Para perceber exatamente o que se passa para isto acontecer tem se ser feito um estudo numérico ou outro tipo de ensaios experimentais que saem fora do âmbito desta dissertação.

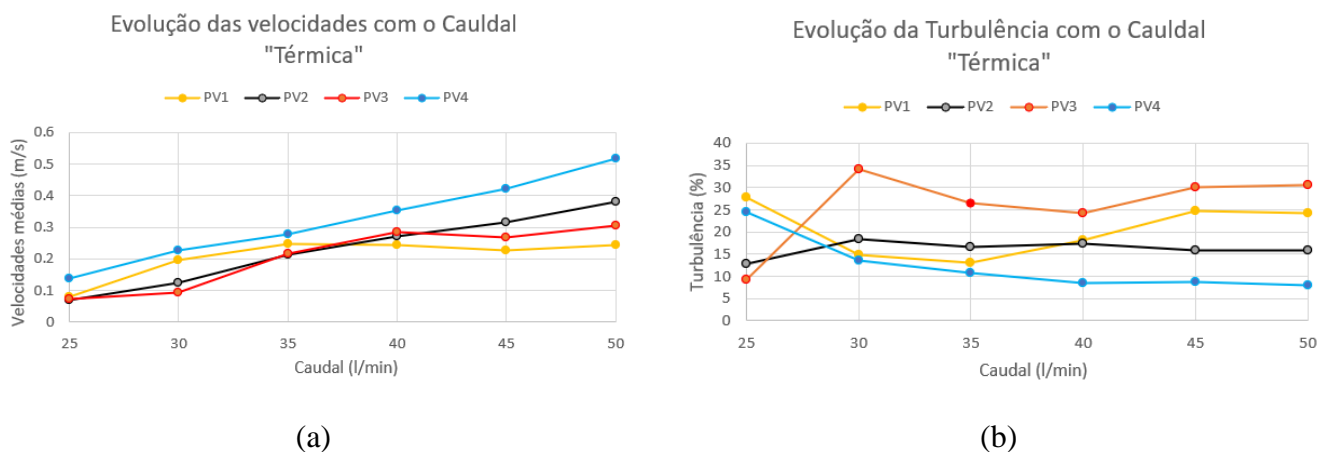


Figura 4.2. Condição “Térmica” evolução primeiros quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de Turbulência.

Na Figura 4.4 estão os resultados da condição “Pulmão”. A análise destes resultados é completamente diferente. Numa análise feita à Figura 4.4 (a) é possível verificar que a velocidade do PV1 é muito superior em valor médio e em amplitude de oscilação que os resultados dos restantes pontos. A justificação é a localização do PV1, colocado mesmo em frente à boca do manequim, isto é, está sujeito aos jatos que saem da boca do manequim durante a sua respiração.

Na Figura 4.3 estão representados trinta segundos da evolução das velocidades para 25 l/min de caudal de ar. É claramente visível que a velocidade no PV1 descreve uma linha sinusoidal. Esta linha corresponde à respiração da Maria. Neste ponto podemos ver que a

média das velocidades praticamente não se altera com o aumento do caudal de ar (vd. Figura 4.4). Isto deve-se ao facto de as velocidades nesta zona são fundamentalmente provenientes do jato da expiração pela boca do manequim. A influência da respiração na velocidade diminui com o aumento da distância, como se pode ver na pelos resultados dos restantes pontos.

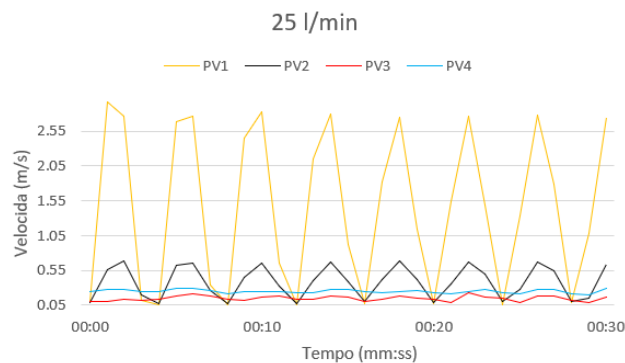


Figura 4.3. Velocidade condição “Pulmão” (primeiros PV) para o caudal de 25 l/min (30 s).

Para os restantes valores de caudal de ar o comportamento é idêntico, mas com velocidades mais elevadas. Na Figura 4.4 (a) observa-se que a velocidade do ar em PV2, PV3, PV4 aumentam sempre com o aumento do caudal. Uma análise da intensidade de turbulência não faz muito sentido neste caso, pois a inspiração e expiração da Maria vão fazer com que haja muito mais intensidade de turbulência na cortina como se pode ver pelos valores de intensidade de turbulência na Figura 4.4 (b). De salientar que a partir do caudal de 40 l/min a influência da respiração no PV2 diminui significativamente, isto é visto na Figura 4.4 (b) pois a intensidade de turbulência causada pela respiração desce bruscamente. Ou seja, o caudal naquela zona é suficiente para que a respiração não altere o padrão do escoamento da cortina de ar.

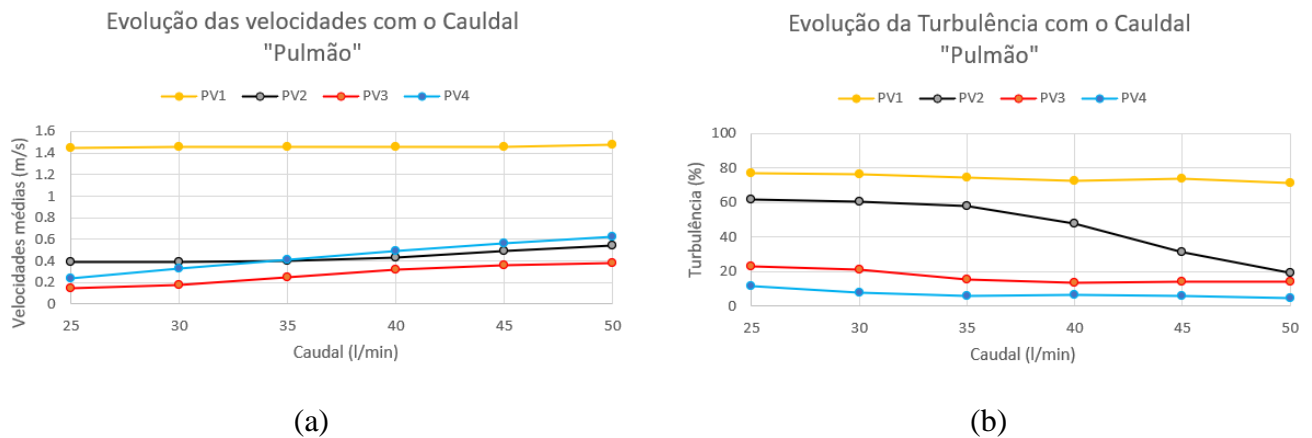


Figura 4.4. Condição “Pulmão” evolução primeiros quatro pontos:(a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.

Por fim, na Figura 4.5 são apresentados os resultados da condição mais realista, que junta o efeito da pluma térmica e da respiração. Estes resultados são muito semelhantes aos resultados obtidos para a condição “Pulmão”. Devido a neste caso existir pluma térmica as velocidades são ligeiramente inferiores à condição “Pulmão”, como seria de esperar, pois os valores de velocidade do ar também diminuíram quando foi comparada a situação “Normal” com a situação “Térmica”. A justificação para esta diminuição da velocidade é a mesma que foi dada na condição “Térmica” (efeito da pluma térmica). A restante análise é exatamente igual à análise feita para a condição “Pulmão”.

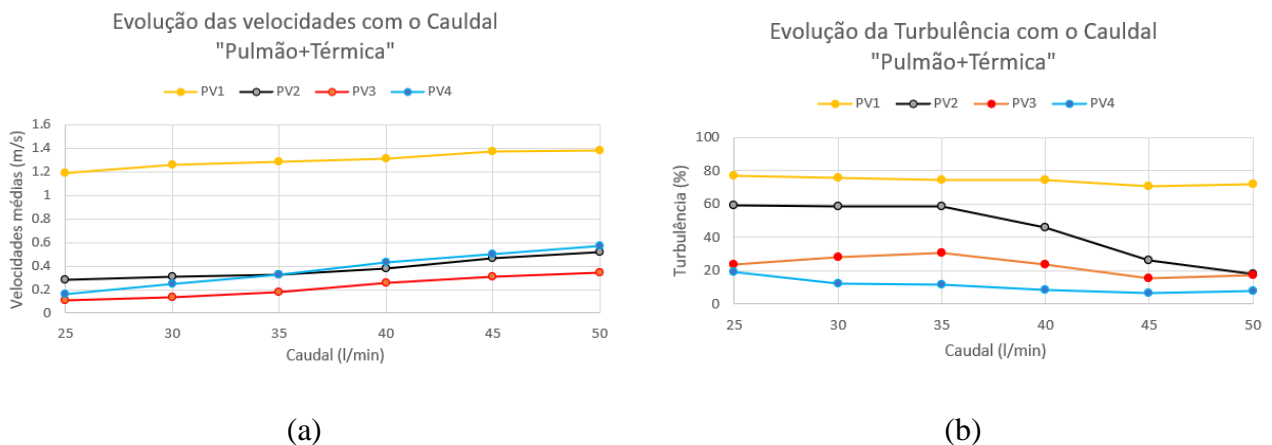


Figura 4.5. Condição “Pulmão + Térmica” evolução primeiros quatro pontos:(a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.

Na Figura 4.6, Figura 4.7, Figura 4.10 e Figura 4.11 estão apresentados os resultados dos últimos pontos de velocidade. Como já foi mencionado, estes pontos pertencem

praticamente à saída do *plenum*, assim estes resultados estarão muito próximos da velocidade do ar da cortina que sai nas respetivas zonas, representadas na Figura 2.4 (PV5 corresponde à zona 1, PV6 corresponde à zona 2, PV7 corresponde à zona 3, e PV8 corresponde à zona 4 ou L).

Na condição “Normal” (Figura 4.6), destaca-se a velocidade no PV8 que é maior que os restantes.

Na Figura 4.6 (a) os restantes pontos apresentam valores de velocidade do ar próximos e sempre constante com o aumento do caudal. Na Figura 4.8 (a) é possível ver uma aproximação da evolução da velocidade do ar para os restantes pontos. Através da Figura 4.8 (a) é ainda possível ver que todos estes PV têm valores muito semelhante, o que confirma o bom funcionamento do *plenum* projetado para distribuir o ar de forma adequada a criar a cortina de ar desejada.

Em relação à intensidade de turbulência conclui-se pela Figura 4.6 (b) que aumenta com o aumento do caudal, mas os seus valores são bastante baixos (% de aumento), logo a intensidade de turbulência neste caso praticamente não existe.

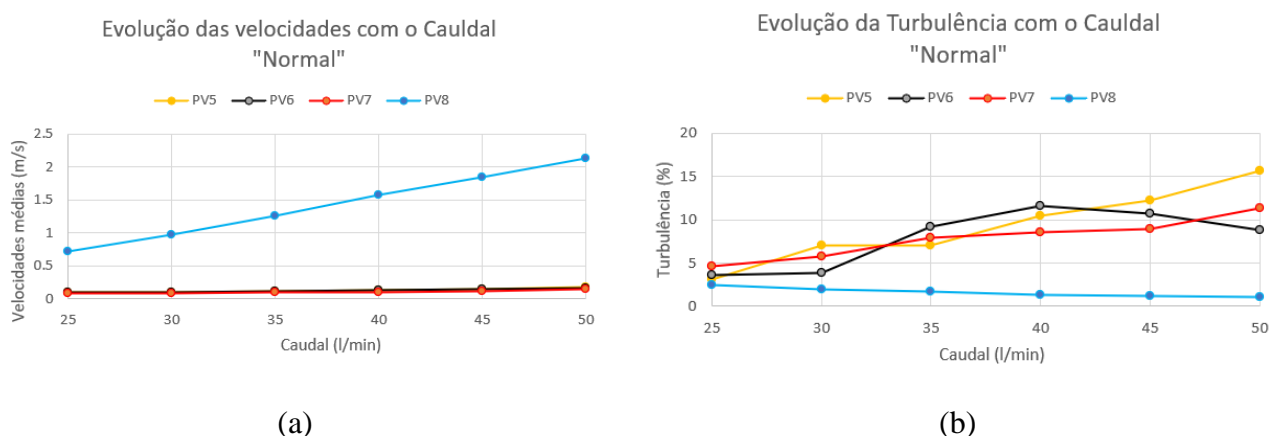
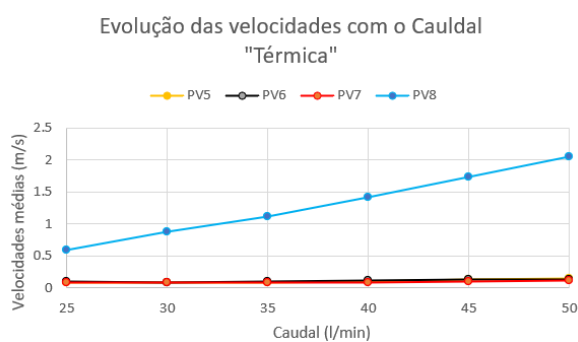


Figura 4.6. Condição “Normal” evolução últimos quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.

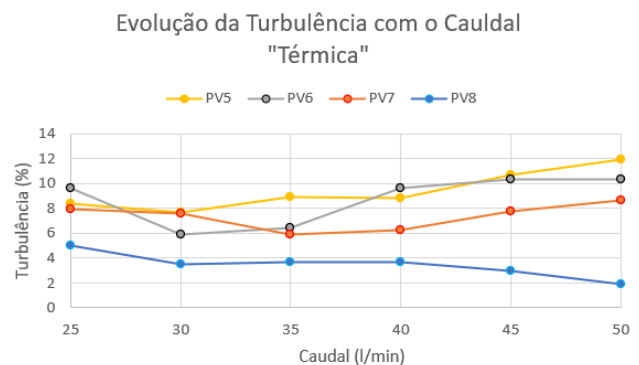
Na Figura 4.7 (a) e Figura 4.8 (b) está presente a evolução da velocidade com o caudal para a condição “Térmica”. Esta Figura é bastante semelhante à Figura 4.7 (a). A análise a esta condição é exatamente a mesma do que já foi feito neste capítulo à condição “Normal”. A única diferença a salientar é que nesta condição as velocidades são ligeiramente mais baixas. Mais uma vez isto acontece devido ao ar aquecer devido a pluma térmica e subir. Neste caso a diferença é menor que nos primeiros pontos. Isto acontece, pois, estes pontos

estão mais distantes da zona do peito e ombros do manequim (zonas quentes), ou seja, estes pontos estão menos influenciados pela pluma térmica que os primeiros pontos. O efeito da pluma térmica vai se perdendo com a altura na viseira.

Em relação à intensidade de turbulência (Figura 4.7 (b)) constata-se que mais uma vez a intensidade de turbulência tem pouco impacto neste caso, pois os seus valores são relativamente baixos, como na condição “Normal”.

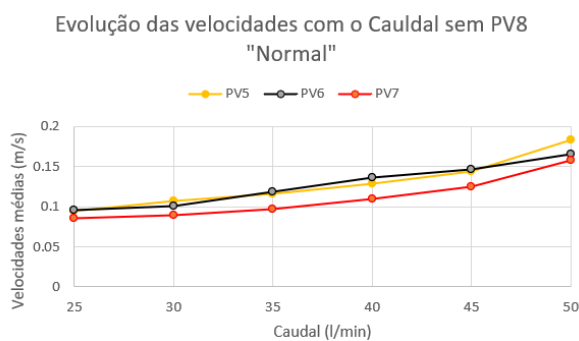


(a)

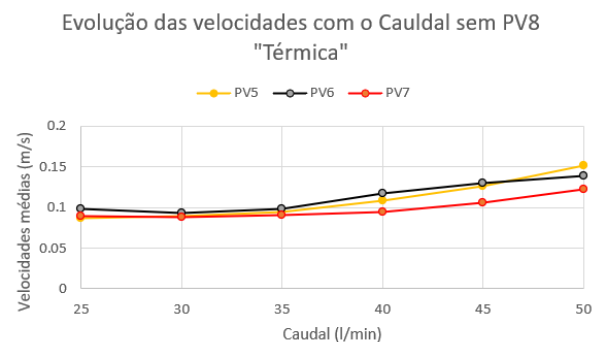


(b)

Figura 4.7. Condição “Térmica” evolução últimos quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.



(a)



(b)

Figura 4.8. Evolução da velocidade dos últimos pontos (sem PV8): (a) “Normal”; (b) “Térmica”.

Presente na Figura 4.10 (a) está a evolução da velocidade com o caudal inserido no *plenum* para a condição “Pulmão”. Esta condição já difere das outras duas apresentadas anteriormente, embora tenha algumas semelhanças. O PV8 praticamente não sofre impacto com a respiração, pois não tem um comportamento sinusoidal, como se vê na Figura 4.9.

Isto acontece devido à distância do PV8 à zona de respiração. O PV5 é bastante influenciado pela respiração pois situa-se perto da zona de respiração, o PV6 ainda sofre algum impacto pela respiração, o que já praticamente não acontece com o PV7, como se observa na Figura 4.9 através do comportamento sinusoidal que é característico da respiração humana.

Outra semelhança desta condição com as outras são os PV6 e PV7. Estes pontos têm evoluções muito parecidas com o que foi mostrado nas outras condições, e os seus valores são bastantes semelhantes. Isto já não acontece com o PV5, pois a velocidade neste ponto é influenciada pela inspiração e pela expiração tendo assim velocidade superior à dos outros pontos (PV6 e PV7).

Em relação à intensidade de turbulência, desta vez os valores da intensidade de turbulência são elevados. Estes valores estão associados à respiração pois são valores enormes para o PV5, decrescendo no PV6 e PV7 até serem praticamente desprezáveis para o PV8. Ou seja, mais uma vez decrescem com o aumento da distância à zona de respiração, o que significa que esta intensidade de turbulência é causada pela respiração. De destacar o PV6 (segundo ponto mais próximo da respiração) que a partir dos 35 l/min de caudal a sua intensidade de turbulência reduz significativamente. Uma justificação para isto acontecer pode ser que a partir dos 35 l/min de caudal a influência da cortina de ar começa a reduzir significativamente a influência da respiração neste PV.

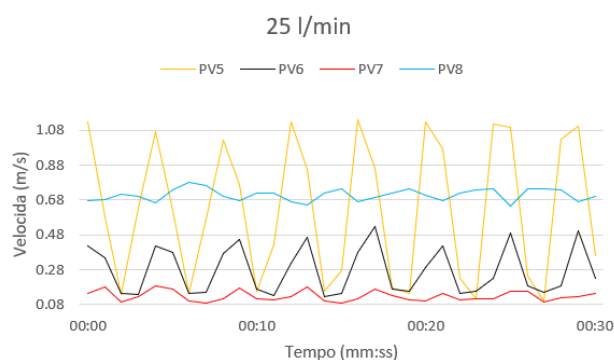


Figura 4.9. Velocidade condição “Pulmão” (últimos PV) para o caudal de 25 l/min (30 s).

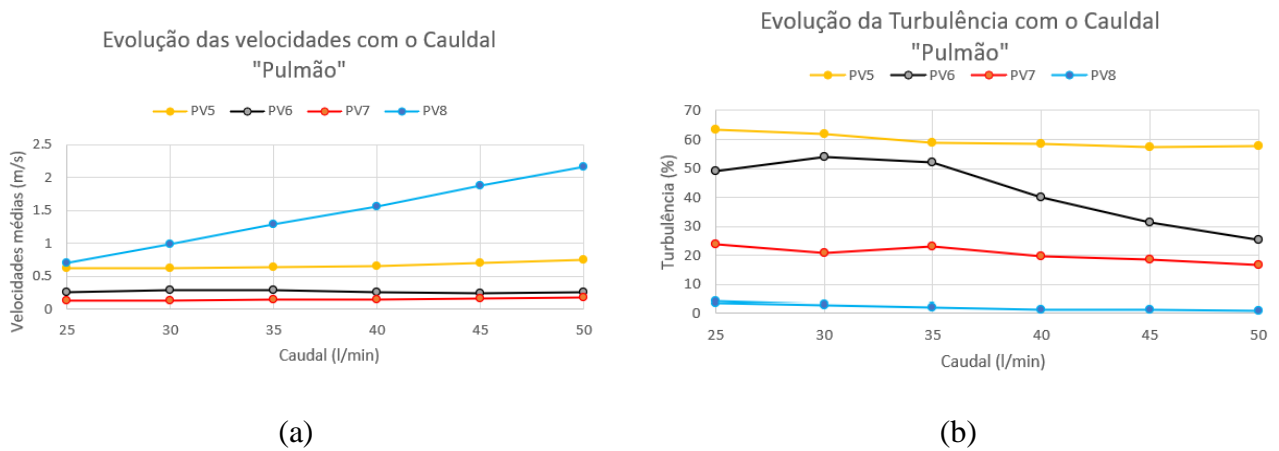


Figura 4.10. Condição “Pulmão” evolução últimos quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.

A evolução da velocidade com o caudal para a condição “Pulmão + Térmica” está presente na Figura 4.11 (a). Esta Figura é praticamente igual à Figura 4.10 (a). Devido a isto a análise a estes resultados é exatamente a mesma análise realizada para a condição “Pulmão”. A única diferença é que todos os valores são ligeiramente inferiores que os da condição “Pulmão” devido à pluma térmica, como já foi justificado nesta dissertação. Em relação à intensidade de turbulência a sua análise também é exatamente igual à que foi feita para a condição “Pulmão” uma vez que a Figura 4.10 (b) e Figura 4.11 (b) são muito semelhantes. Destacar que em todos os casos o valor de PV8 tem sempre um comportamento muito idêntico dependendo da condição.

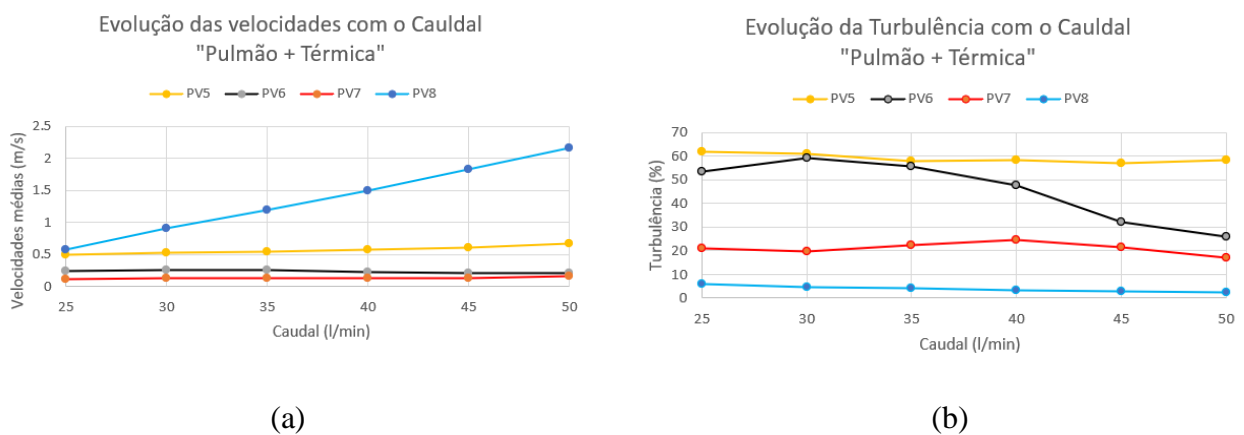


Figura 4.11. Condição “Pulmão + Térmica” evolução últimos quatro pontos: (a) Velocidade; (b) Intensidade de turbulência.

4.2. Medição do Fator de Proteção (FP)

A medição do FP foi feita também em duas fases distintas. Com esponja e sem esponja. Neste subcapítulo, além da apresentação dos resultados para a situação com esponja e sem esponja, apresenta-se também a situação de otimização utilizando as palas. As palas reproduzem a forma e dimensões dos modelos usados nos estudos de modelação, foram feitas com cartão e posteriormente colocadas no EPI e fixadas à superfície do manequim através de fita de papel.

Como já mencionado, para todos os casos foram realizados dois ensaios. Apresentam-se os resultados detalhados para um dos ensaios, e apresentam-se na Tabela 4.1 todos os valores de FP obtidos em todos os ensaios realizados.

Nos gráficos estão representados resultados de três zonas diferentes: Dentro, Fora, Parede (que significa zona de respiração dentro do EPI), fora do EPI (superfície exterior da viseira) e na parede da câmara de ensaios (localização dos sensores na Figura 3.14).

Em todos os casos realizou-se uma adimensionalização dos valores obtidos em relação à concentração mais afastada do protótipo (junto da parede da câmara).

Nestes gráficos observam-se três períodos dos ensaios. Primeiro observa-se o período de injeção de CO₂ (35 s), depois o período correspondente aos dez minutos em que o CO₂ da câmara estabiliza (zona horizontal) e, no final, os vinte e cinco minutos com a cortina de ar ligada. Logo que se liga a cortina é possível ver uma queda vertical em todos os gráficos na linha que corresponde ao interior da viseira (Dentro). Esta queda de CO₂ acontece devido à ação da cortina de ar que tem um efeito de “limpeza”. Este efeito é praticamente imediato assim que a cortina é ligada e, depois, tende a estabilizar, mantendo, no entanto, uma diminuição suave devido ao facto de se estar permanentemente a introduzir ar novo dentro da câmara.

Logo no início de cada gráfico observa-se um pico na linha da parede. Isto acontece devido ao ventilador que inicialmente projeta todo o CO₂ para a Parede da câmara e só depois estabiliza. As quedas verticais nos gráficos adimensionais apresentados neste capítulo representam o FP.

4.2.1. Vedação superior com esponja

Para analisar os resultados com a esponja de vedação apresentam-se dois gráficos: um com a evolução das concentrações de CO₂ (ppm) em função do tempo de ensaio e outro com os resultados adimensionalizado.

4.2.1.1. "Normal"

Para os três valores de caudal estudados nesta condição obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 4.12, Figura 4.13, e Figura 4.14. Através destas figuras é possível perceber que o maior FP (58%) se consegue com o caudal de 50 l/min (maior queda vertical). Os caudais de 25 l/min e 37 l/min têm valores de FP próximos (29% e 32%, respectivamente), embora o valor de FP do caudal de 37 l/min seja superior como se pode ver na Tabela 4.1. Conclui-se então que quanto maior é o caudal maior é o valor de FP, o que faz sentido pois com maior valor de caudal maior velocidade da cortina e mais quantidade de ar novo a entrar.

Em relação aos pontos fora da máscara e parede da câmara observa-se que são praticamente sempre iguais, revelando uma boa homogeneização do ar na câmara de ensaio (fora do domínio da viseira).

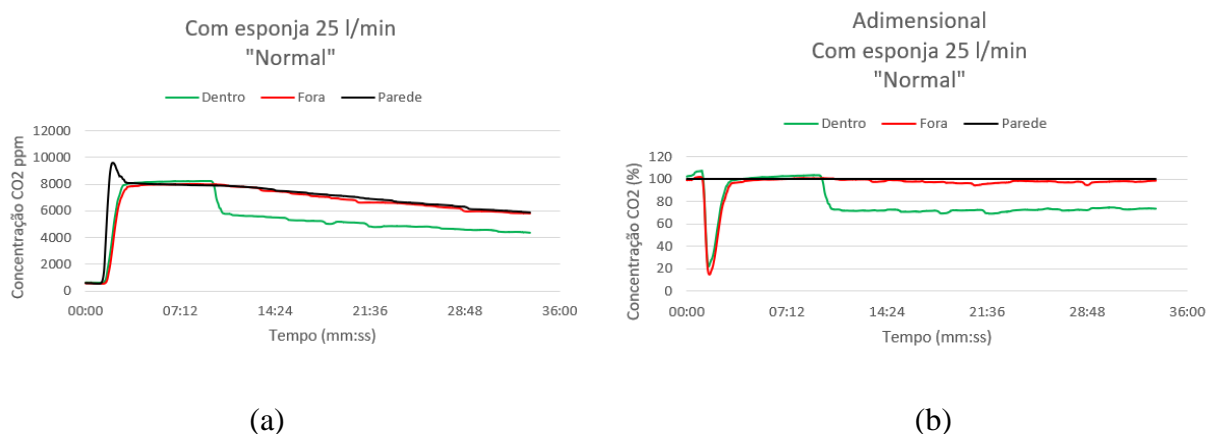


Figura 4.12.Decaimento CO₂ com esponja "Normal" 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

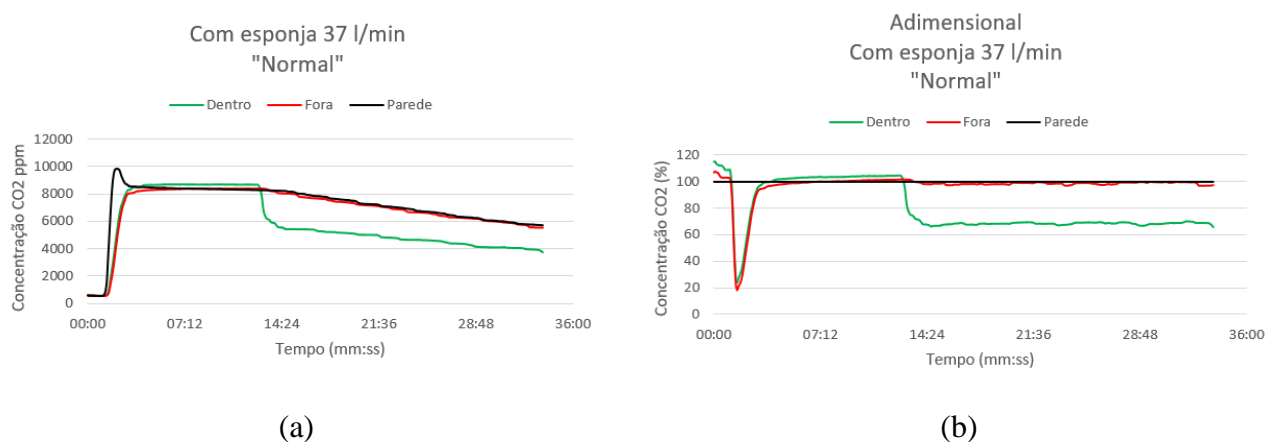


Figura 4.13. Decaimento CO₂ com esponja “Normal” 37 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

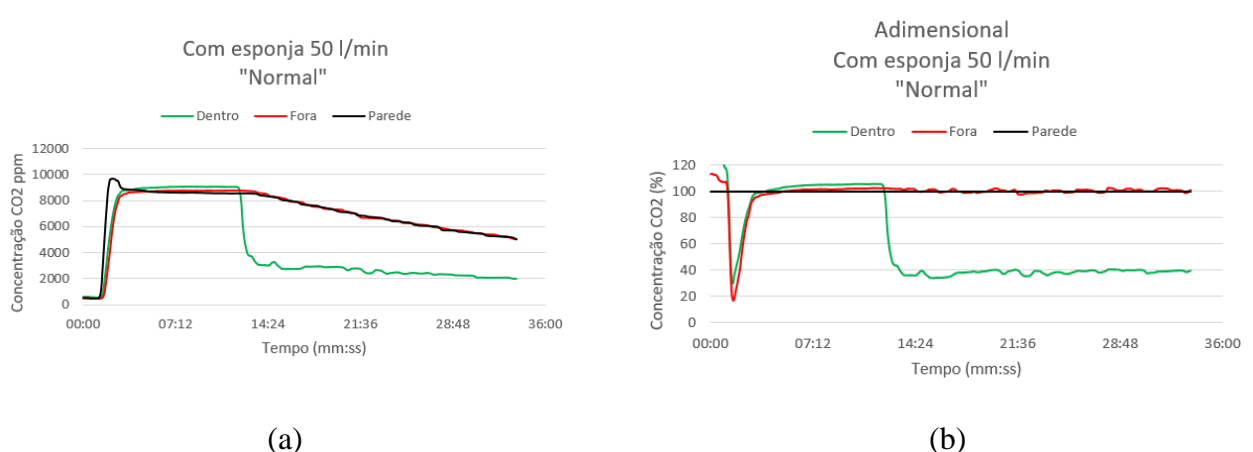
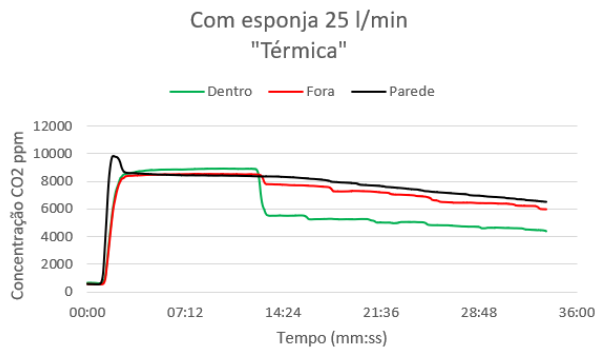


Figura 4.14. Decaimento CO₂ com esponja “Normal” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

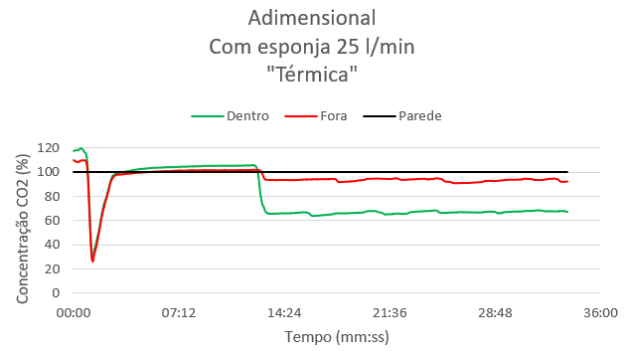
4.2.1.2. “Térmica”

Na Figura 4.15, Figura 4.16, e Figura 4.17 está representada a condição “Térmica”. Nesta condição o aumento do caudal também aumenta o FP, mas estes valores são superiores aos da condição “Normal” para o respetivo caudal (o FP é de 36%, 54%, 71%, respetivamente por ordem crescente dos caudais). Uma possível justificação pode ser o facto de que a pluma térmica faz o ar subir, “limpando” assim melhor a zona de respiração.

Destacar que no exterior da viseira também há uma “limpeza” do ar, o que não acontecia na situação “Normal”. Isto acontece porque parte do ar novo que sai pela parte inferior da máscara deflete devido ao efeito da pluma térmica, subindo junto à superfície exterior da viseira, limpando assim esta zona. O FP para esta zona varia entre 10% e 20% com o aumento do caudal.

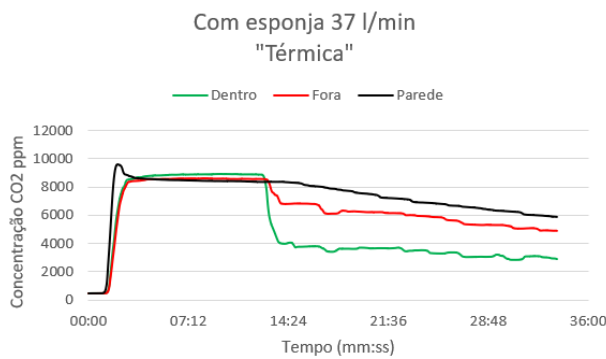


(a)

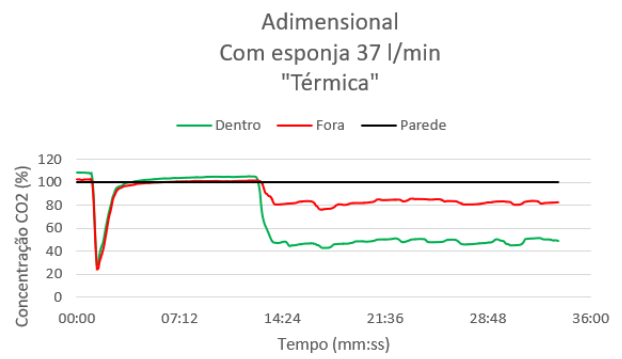


(b)

Figura 4.15. Decaimento CO₂ com esponja “Térmica” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

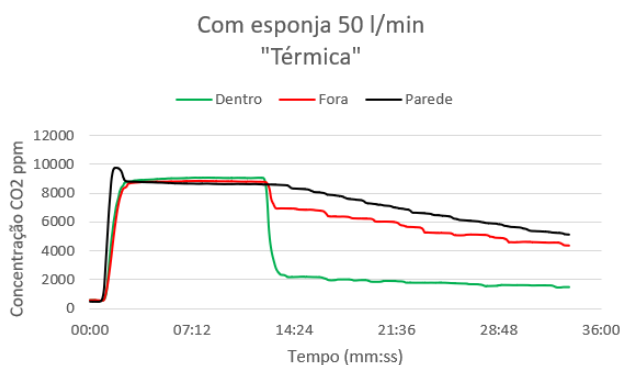


(a)

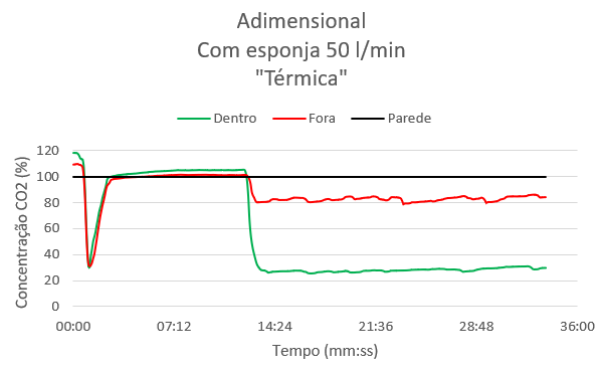


(b)

Figura 4.16. Decaimento CO₂ com esponja “Térmica” 37 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).



(a)



(b)

Figura 4.17. Decaimento CO₂ com esponja “Térmica” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

4.2.1.3. “Pulmão”

Nesta condição (“Pulmão”), como se vê na Figura 4.18, Figura 4.19, e Figura 4.20, os FP são bastantes semelhantes. Isto significa que a influência da respiração é predominante sobre o aumento de caudal. Uma possível justificação para este fenómeno acontecer é a respiração fazer com que o ar novo se misture melhor dentro da viseira reduzindo assim com mais eficácia a concentração de CO₂.

Estes valores são maiores do que os valores da situação “Normal”. Os FP são de 60%, 65%, 67% por ordem crescente de caudais.

Nesta situação os valores Fora da viseira e na Parede da câmara voltam a ser semelhantes.

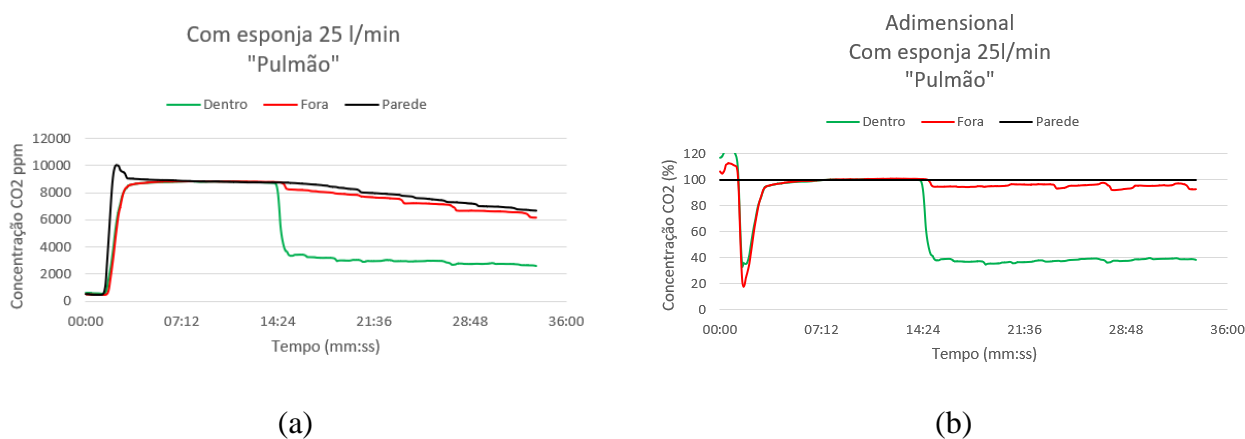


Figura 4.18. Decaimento CO₂ com esponja “Pulmão” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

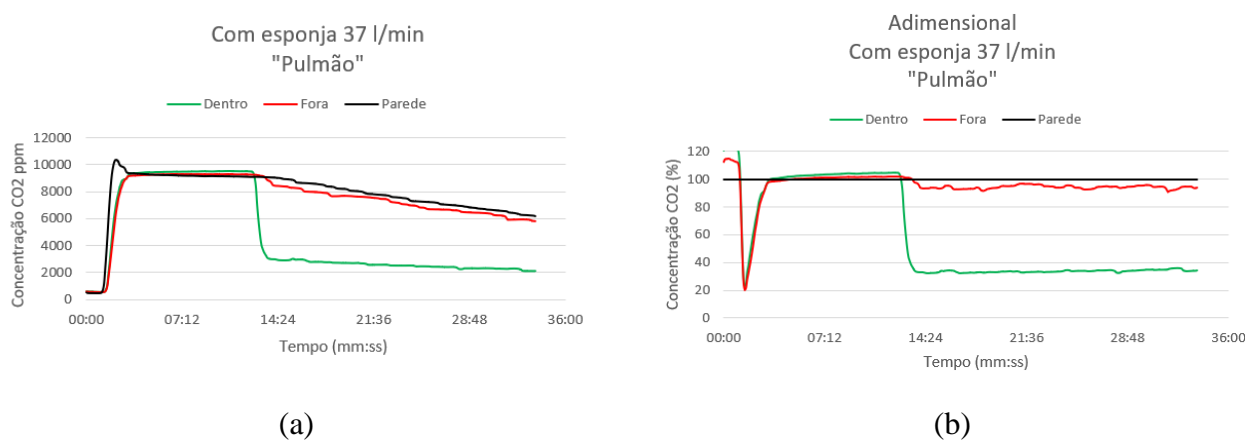


Figura 4.19. Decaimento CO₂ com esponja “Pulmão” 37 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

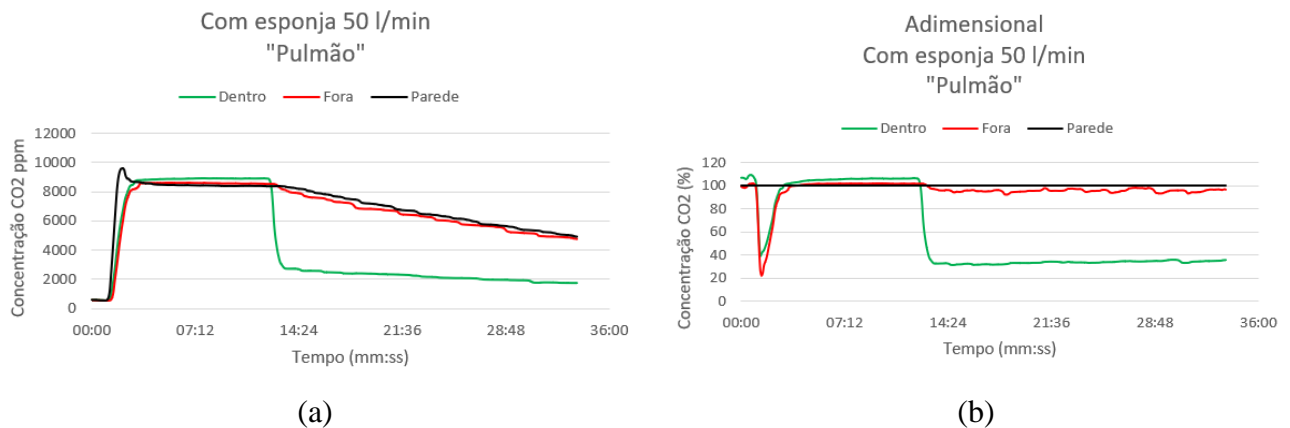


Figura 4.20. Decaimento CO₂ com esponja “Pulmão” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

4.2.1.4. “Pulmão + Térmica”

A condição “Pulmão + Térmica” é a que apresenta melhores valores de FP. Esta condição está apresentada na Figura 4.21, Figura 4.22, e Figura 4.23. Como é de esperar mais uma vez o FP aumenta com o aumento do caudal. Os maiores valores de FP nesta situação justificam-se pela combinação do efeito do pulmão (explicado em 4.2.1.3) com o efeito da pluma térmica (explicado em 4.2.1.2).

A diferença para a queda de concentração de CO₂ na zona Fora da viseira é a mesma que fez o mesmo fenómeno acontecer em 4.2.1.2 e está explicada nesse subcapítulo.

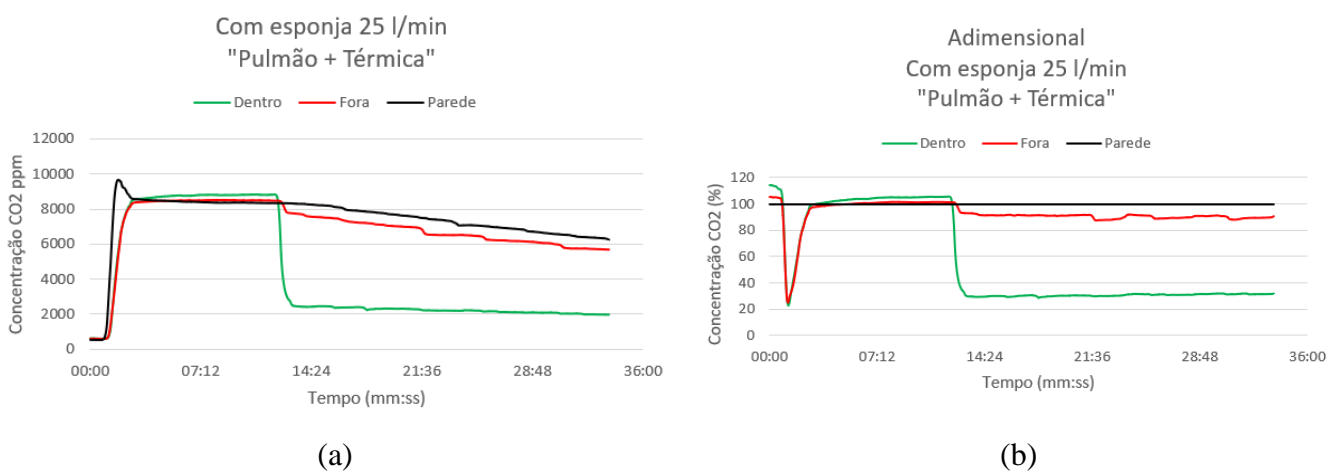


Figura 4.21. Decaimento CO₂ com esponja “Pulmão + Térmica” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

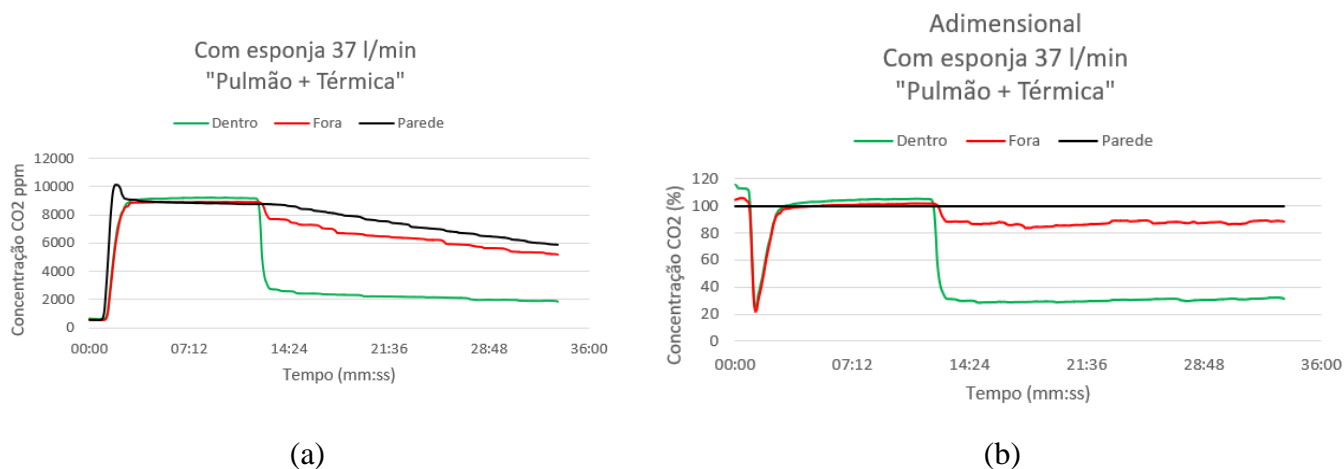


Figura 4.22. Decaimento CO₂ com esponja "Pulmão + Térmica" 37 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

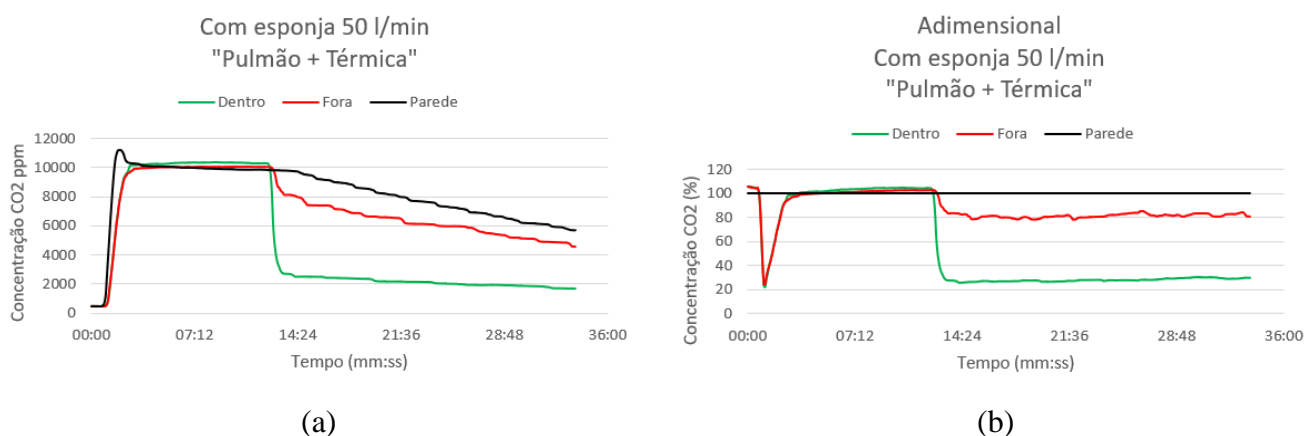


Figura 4.23. Decaimento CO₂ com esponja "Pulmão + Térmica" 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

4.2.1.5. Velocidades do ar inferiores a 25 l/min

Como se observa na Figura 4.24 o instante onde a concentração de CO₂ é menor foi registada aos 28:48 (mm:ss). Para este valor de tempo o caudal que estava a ser inserido no *plenum* era de 20 l/min e tem um FP de 45% aproximadamente. Sendo assim o valor ótimo para esta gama de caudais é de 20 l/min. De salientar que, embora este valor de caudal apresente um maior FP, não significa que seja a melhor opção. Este valor é melhor que para 25 l/min, contrariamente ao esperado (pois é um caudal inferior), porque a cortina de ar provavelmente começa a descolar da superfície interior da viseira. Como já foi referido nesta dissertação a cortina de ar ao descolar da viseira vai incidir na zona de respiração, ou seja, mesmo tendo maior valor de FP não será uma opção viável pois causará maior desconforto ao utilizador.

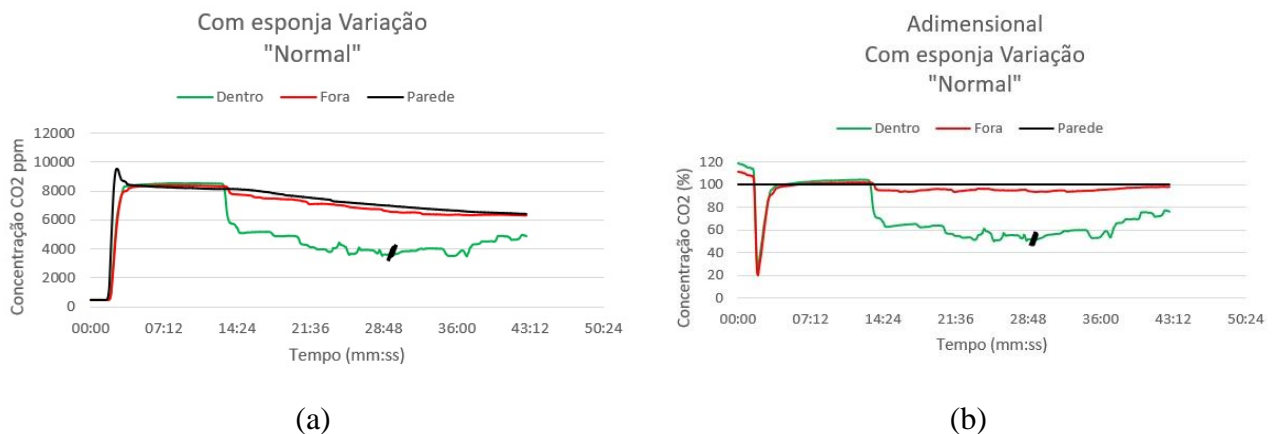


Figura 4.24. Decaimento CO₂ com esponja “Normal” valores inferiores: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

Mesmo havendo probabilidade de a cortina de ar com caudais inferiores a 20 l/min causar desconforto ao utilizador, foi feita uma análise para avaliar o valor de FP para este caudal, agora na condição real (“Pulmão + Térmica”). Na Figura 4.25 estão apresentados os resultados. Na Tabela 4.1 é possível verificar que para o valor de 20 l/min de caudal o FP é inferior ao FP de 25 l/min nesta condição (cerca de 5% de diferença). Isto acontece, pois, nesta condição o pulmão e a pluma térmica têm grande influência no FP como já foi mencionado. Assim, o que acontece é que quanto mais ar novo for fornecido melhor, ou seja, quanto maior caudal de ar melhor, pois o pulmão e a pluma térmica fazem com que o ar novo se “misture” melhor na zona de respiração diminuindo mais assim a concentração de CO₂ nesta zona com o aumento do caudal (ar novo).

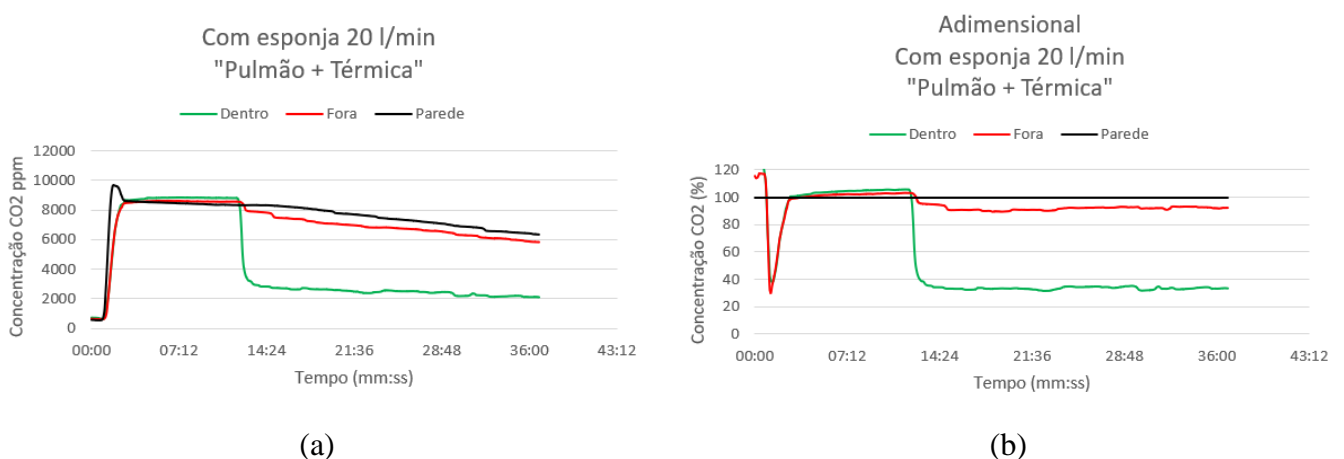


Figura 4.25. Decaimento CO₂ com esponja “Pulmão + Térmica” 20 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

4.2.2. Sem vedação superior (sem esponja)

Os resultados dos ensaios sem esponja vão ser apresentados da mesma forma que os resultados do subcapítulo 4.2.1.

4.2.2.1. "Normal"

Os valores de FP dos ensaios apresentados na Figura 4.26, Figura 4.27 são um pouco superiores aos respetivos valores dos ensaios com esponja (25 l/min e 50 l/min, com diferenças respetivas de FP de aproximadamente 5% e 15%) como se pode ver na Tabela 4.1. Isto pode acontecer por dois fatores distintos. O primeiro é que a presença da esponja faz com que o volume entre a viseira e a face do manequim aumente ligeiramente, pois a esponja aumenta (cerca de 1.5 cm) a distância entre a testa do manequim e a viseira. Este aumento de volume faz com que haja mais CO₂ dentro da viseira no arranque da cortina de ar, sendo assim mais difícil limpar o volume de ar definido pela viseira. Outra justificação pode ser o facto de que sem a esponja a viseira não fica colada a testa do manequim havendo aí fugas de ar com diferentes concentrações de CO₂, devido a maior pressão criada pela entrada de ar novo. Na Figura 4.28 é constatado que mais uma vez na condição "Normal" o caudal de 20 l/min apresenta melhor valor de FP do que o caudal de 25 l/min. A justificação para isto acontecer está presente em 4.2.1.5.

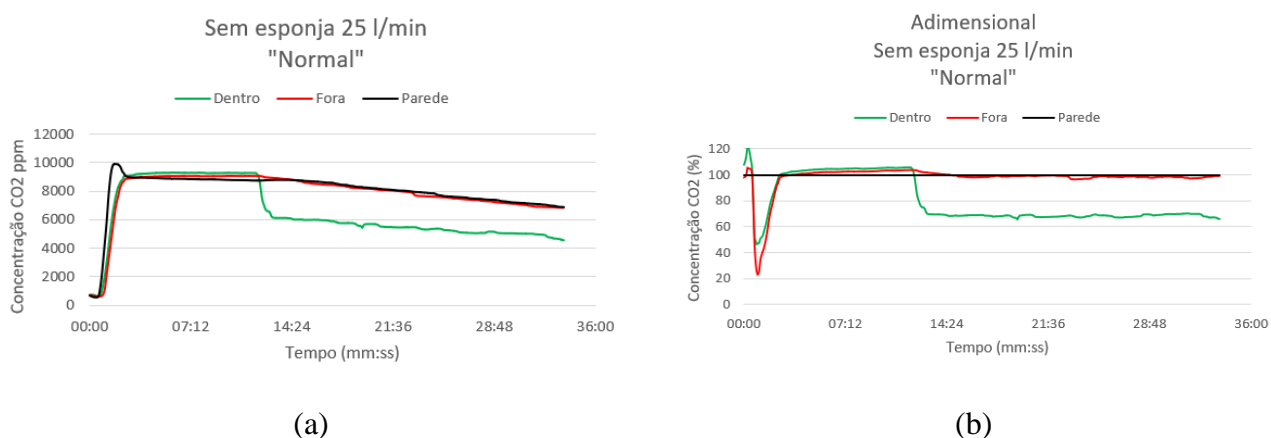


Figura 4.26. Decaimento CO₂ sem esponja "Normal" 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

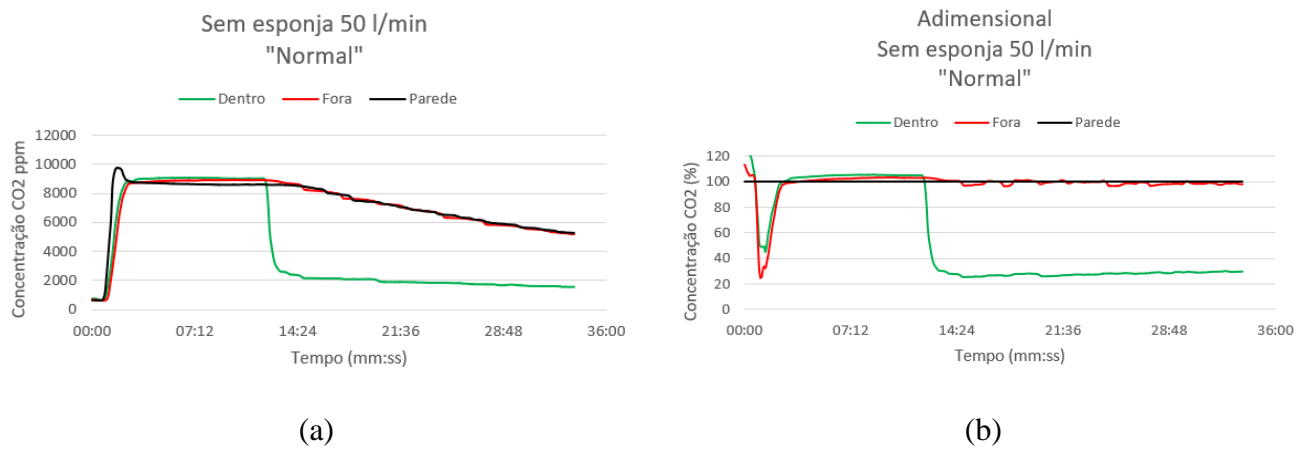


Figura 4.27. Decaimento CO₂ sem esponja “Normal” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

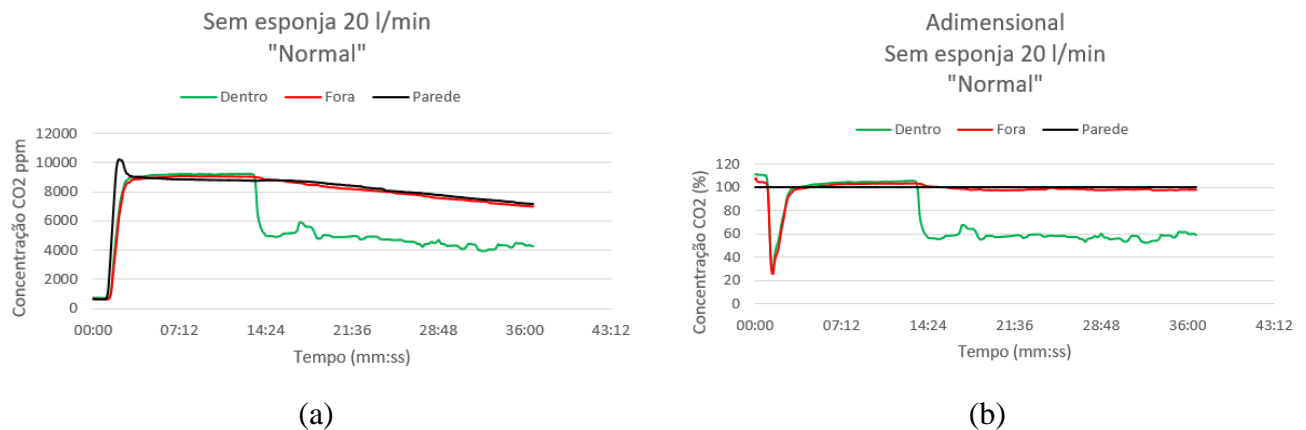


Figura 4.28. Decaimento CO₂ sem esponja “Normal” 20 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

4.2.2.2. “Pulmão”

Nas Figura 4.29, Figura 4.30, Figura 4.31 os resultados mostram valores de FP bastante semelhantes. Na Tabela 4.1 é possível observar que os valores de FP aumentam com o caudal, mas muito ligeiramente. Estes valores são bastante semelhantes pois a respiração tem influência na homogeneização do ar novo no interior da viseira.

Mais uma vez estes valores são superiores aos valores de FP (para os respetivos caudais) quando a viseira tem esponja.

O caudal de 20 l/min mostra mais uma vez que só é a melhor solução na condição “Normal”.

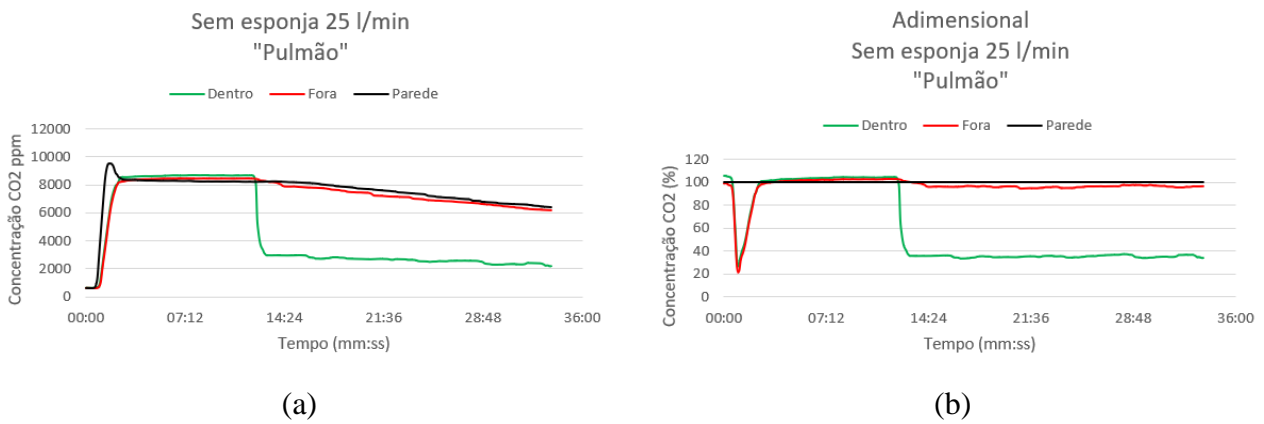


Figura 4.29. Decaimento CO₂ sem esponja "Pulmão" 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

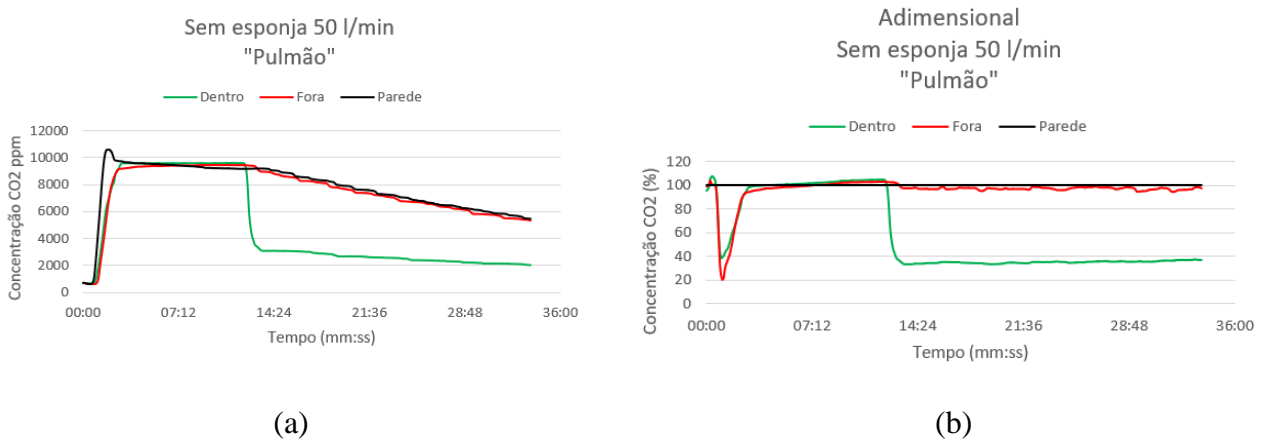


Figura 4.30. Decaimento CO₂ sem esponja "Pulmão" 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

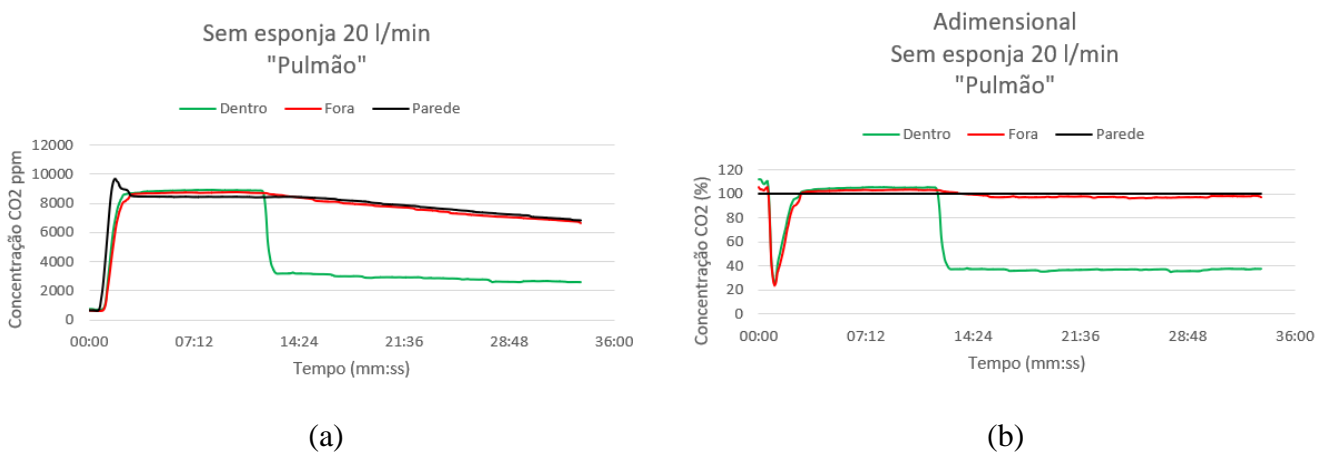


Figura 4.31. Decaimento CO₂ sem esponja "Pulmão" 20 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

4.2.2.3. “Pulmão + Térmica”

Nesta condição os valores de FP em relação aos resultados sem esponja também são ligeiramente melhores. Estes resultados não têm uma diferença muito significativa embora tenham maior diferença o que na condição “Pulmão”. A justificação para este resultado é a mesma que foi dado no subcapítulo

À semelhança do que aconteceu nos ensaios com esponja, a condição “Pulmão + Térmica” é a condição que apresenta melhores FP. Tal acontece devido à combinação do efeito pulmão com o efeito da pluma térmica como foi dito em 4.2.1.2, 4.2.1.3, e 4.2.1.4.

Os resultados Fora da viseira e na Parede da câmara mais uma vez “afastam-se” quando a pluma térmica está a funcionar, e é mais evidente quanto maior for o caudal. Como já foi explicado isto acontece devido á subida do ar quente pela pluma térmica, e quanto mais ar novo mais ar aquece e sobe, logo mais limpa a superfície exterior da viseira.

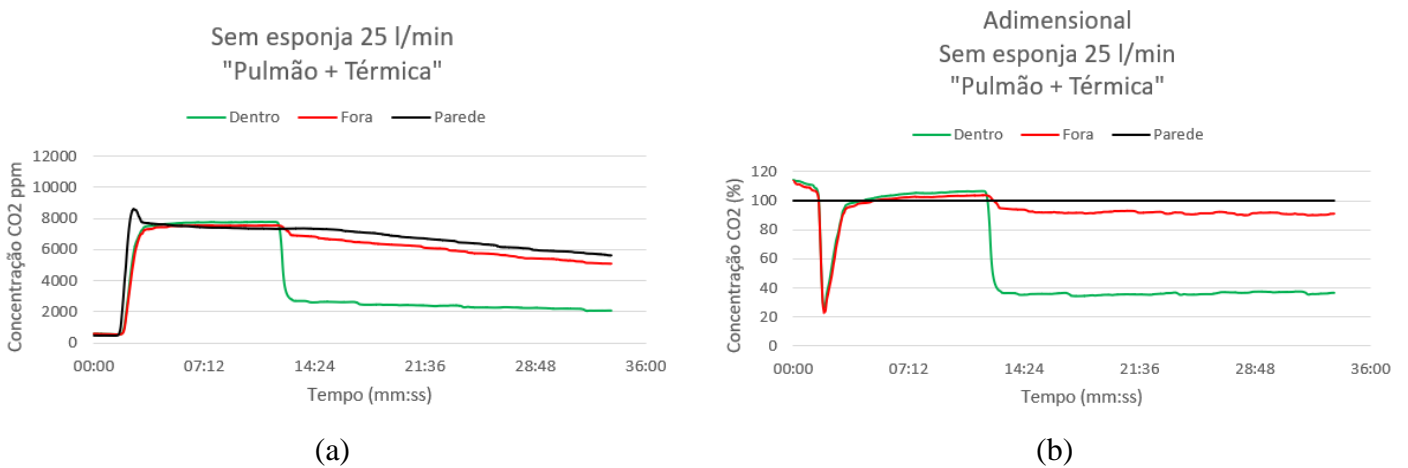


Figura 4.32. Decaimento CO₂ sem esponja “Pulmão + Térmica” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

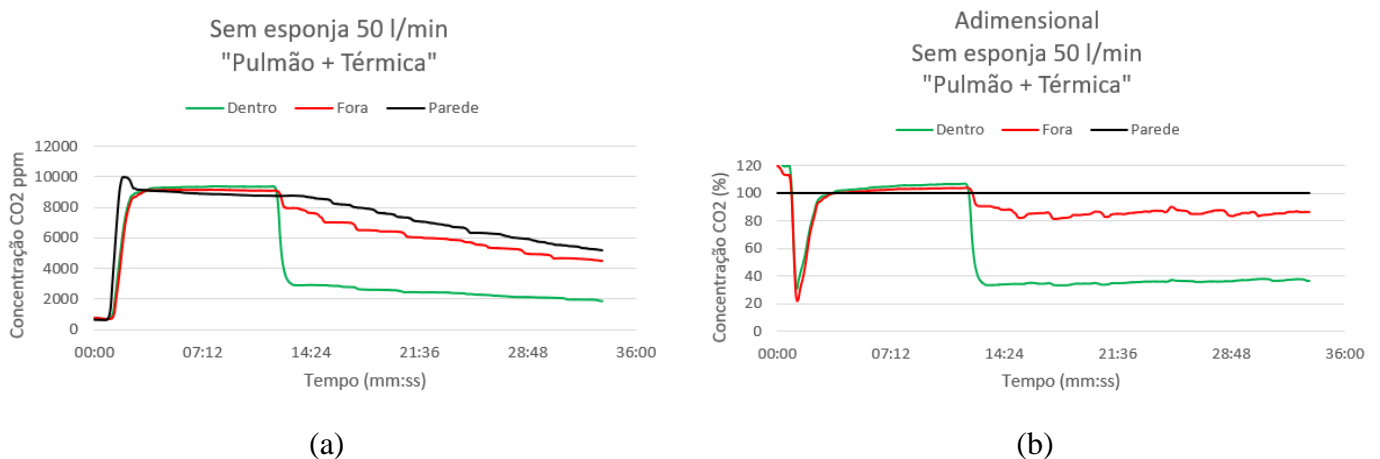


Figura 4.33. Decaimento CO₂ sem esponja “Pulmão + Térmica” 50 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

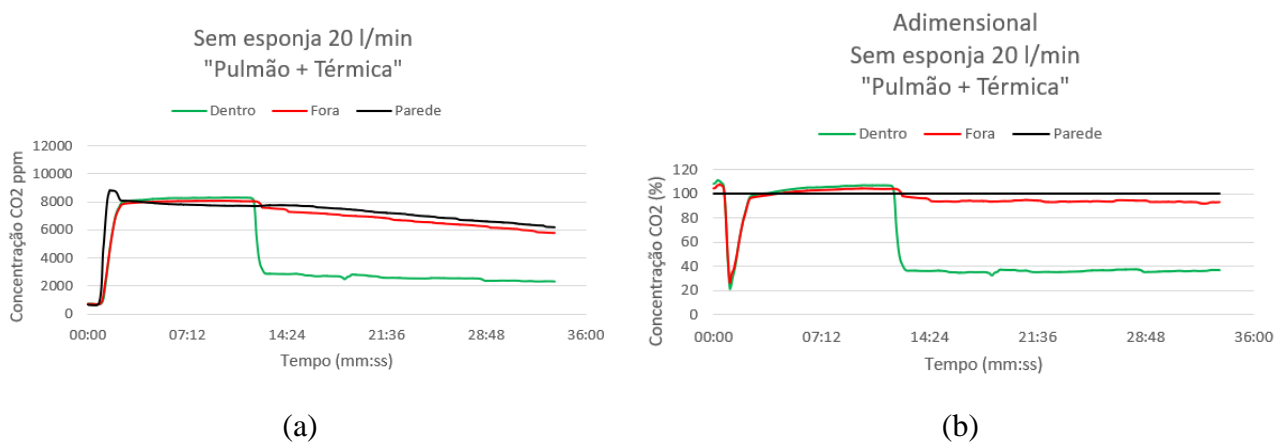


Figura 4.34. Decaimento CO₂ sem esponja "Pulmão + Térmica" 20 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

4.2.3. Otimização com vedação física lateral (Palas)

Para a otimização foram colocadas duas palas como já foi referido. Neste subcapítulo vão ser apresentados os resultados à semelhança do que foi feito em 4.2.1 e 4.2.2. Para as palas apenas foram realizados ensaios com o caudal de 25 l/min. Foi utilizado apenas este caudal pois foi o caudal para o qual o EPI foi dimensionado, como foi mencionado em 3.3.2. Apenas foram feitos ensaios para duas condições como referido em 3.3.2.

Nas Figura 4.35, Figura 4.36 estão apresentados os resultados destes ensaios.

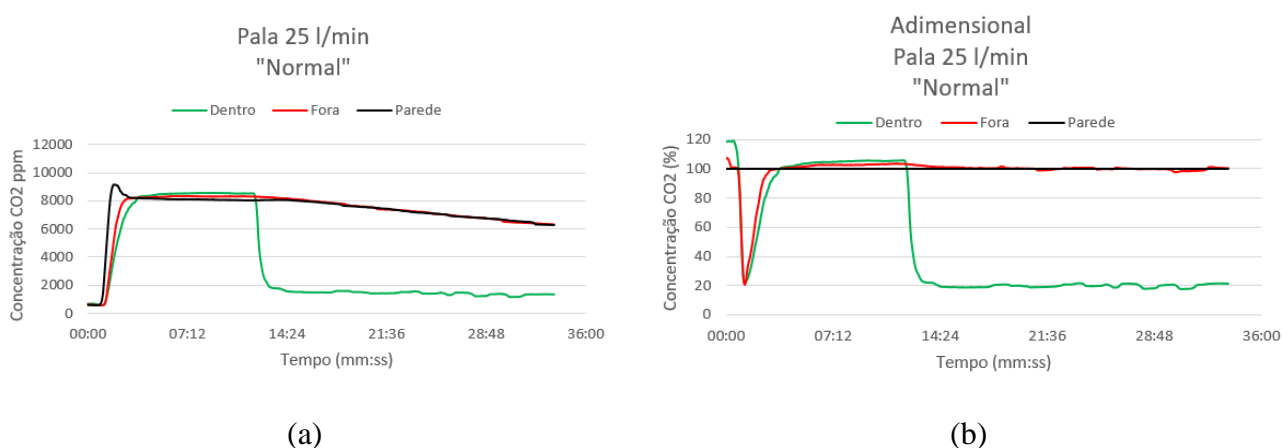


Figura 4.35. Decaimento CO₂ com palas "Normal" 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

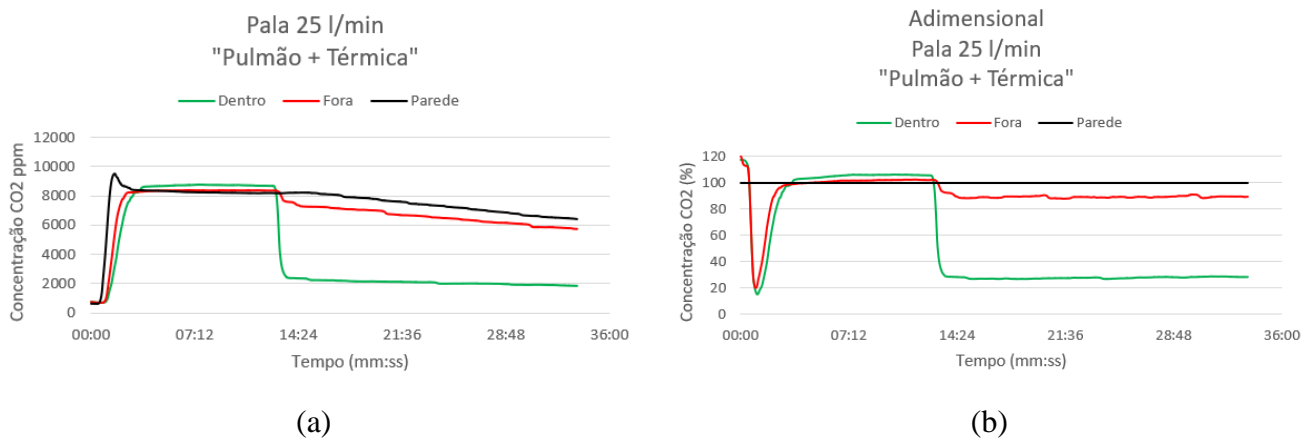


Figura 4.36. Decaimento CO₂ com palas “Pulmão + Térmica” 25 l/min: (a) ppm; (b) Adimensional (%).

Como é possível observar pela Figura 4.35, Figura 4.36 e pela Tabela 4.1 os valores de FP com as palas são claramente os melhores. As palas são uma grande vantagem pois impedem a entrada de CO₂ pela zona lateral da máscara. A implementação de palas ajuda então a melhorar a permeabilidade ao CO₂ nessa zona.

Nos resultados de CFD o FP é de 100%, obtendo-se nestes resultados experimentais um valor de 80% (condição “Normal”). Isto significa que ainda existem infiltrações de ar da câmara de ensaio com concentração elevada de CO₂ (provavelmente na parte superior), não se tendo conseguido reproduzir perfeitamente a configuração representada nos estudos de modelação numérica.

Um resultado curioso é o facto de a condição “Normal” ter melhor FP que a condição “Térmica + Pulmão”. Isto pode acontecer pois as palas podem fazer com que a cortina de ar seja menos turbulenta na situação “Normal”, melhorando o FP. Por sua vez, a influência do pulmão e/ou da pluma térmica podem fazer com que a cortina seja mais turbulenta piorando o FP. Sugere-se a realização de uma investigação de modelação numérica e/ou experimental (fora do âmbito desta dissertação) para determinar com certeza este fenómeno.

	Caudal (l/min)	Com Esponja		Sem Esponja		Pala	
		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
Normal	25	27.13	30.54	35.23	31.23	78.87	81.05
	50	59.16	56.5	70.79	71.77	-	-
	20	-	-	42.63	44.87	-	-
	37	30.34	33.37	-	-	-	-
Pulmão	25	59.92	60.16	65.44	64.65	-	-
	50	67.67	66.81	66.16	64.91	-	-
	20	-	-	63.37	62.45	-	-
	37	63.27	66.05	-	-	-	-
Térmica	25	36.83	34.25	-	-	-	-
	50	72.4	69.45	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-
	37	55.26	52.37	-	-	-	-
Pulmão+Térmica	25	68.9	69.29	64.08	63.17	73.28	72.08
	50	72.36	74.12	69.81	66.48	-	-
	20	63.2	64.96	63.72	63.22	-	-
	37	69.06	70.66	-	-	-	-

Tabela 4.1. Valores do FP (%) para todos os ensaios realizados

5. CONCLUSÕES

Esta dissertação teve como objetivo validar experimentalmente a vedação aerodinâmica de um EPI capaz de proteger os médicos dentistas de agentes patogênicos infecciosos.

Para esta validação foram realizados ensaios para caracterizar a velocidade do ar e o Fator de Proteção do EPI em diversas condições. Nestes ensaios foram estudadas as influências da respiração e da pluma térmica.

Nos ensaios de caracterização da velocidade da cortina de ar, obtiveram-se sempre aumentos de velocidade do ar com o caudal fornecido, como expectável. Observou-se que a influência da respiração é significativa na zona frontal da cortina. A respiração destrói a cortina para a velocidade de referência, de 25 l/min. A partir de 40 l/min de caudal fornecido, a respiração começa a perder influência na cortina, excetuando os pontos frontais (PV1 e PV5). Nos pontos laterais (PV4 e PV8) a respiração praticamente não tem influência.

A pluma térmica faz com que as velocidades diminuam cerca de 0.1 m/s, em média, nos pontos de inferiores da viseira e cerca de 0.05 m/s nos pontos superiores.

Nos ensaios com CO₂ com o caudal de referência (25 l/min) determinou-se um FP de 29% com esponja de ajuste da viseira à cabeça do utilizador, e de 33% nos ensaios sem uma esponja na parte superior da viseira. Observa-se também que o efeito da pluma térmica do manequim aumenta o FP em cerca de 5%, e o efeito da respiração aumenta o FP para praticamente o dobro, com o caudal de 25 l/min. O efeito conjugado da respiração e da pluma térmica resultou em valores doo FP de 69% e de 64%, respetivamente para a situação sem e com esponja.

Foi ainda estudada uma situação de otimização usando palas laterais (sem esponja). Nesta configuração obtiveram-se os melhores valores de FP, tendo um valor de FP de 73% quando avaliado com o efeito combinado da respiração e da pluma térmica. Sem avaliar estes efeitos obteve-se um valor de FP de 80%. Neste caso, a pluma térmica e a respiração baixam o valor de FP.

Sugere-se realização de mais estudos experimentais e numéricos para melhor concluir causas para alguns resultados (intensidade de turbulência, efeito da esponja, melhorar o material para as palas e redução infiltrações no EPI).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. S. Sakharov, K. Zhukov, and P. Lebedev, ‘Study of an Air Curtain in the Context of Individual Protection from Exposure to Coronavirus (SARS-CoV-2) Contained in Cough-Generated Fluid Particles’, doi: 10.3390/physics2030018.
- [2] J. Ma, H. Qian, F. Liu, and X. Zheng, ‘Performance analysis of a novel personalized air curtain for preventing inhalation of particulate matters in industrial environments’, *Journal of Building Engineering*, vol. 58, p. 105014, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.105014.
- [3] M. S. Alshitawi, S. Suyambazhahan, and A. S. Alaboodi, ‘Computational fluid dynamics simulation of breathing zone of the human for air quality with a personalized air curtain’, <https://doi.org/10.1177/1687814019844688>, vol. 11, no. 5, pp. 1–13, May 2019, doi: 10.1177/1687814019844688.
- [4] L. P. de Albuquerque, R. B. da Silva, and R. M. S. de Araújo, ‘COVID-19: ORIGIN, PATHOGENESIS, TRANSMISSION, CLINICAL ASPECTS AND CURRENT THERAPEUTIC STRATEGIES’, *Revista Prevenção de Infecção e Saúde*, vol. 6, no. 0, Apr. 2020, doi: 10.26694/REPIS.V6I0.10432.
- [5] P. C. Hallal, ‘Worldwide differences in COVID-19-related mortality’, *Cien Saude Colet*, vol. 25, pp. 2403–2410, Jun. 2020, doi: 10.1590/1413-81232020256.1.11112020.
- [6] J. J. Arellano-Cotrino, N. Marengo-Coronel, K. J. Atoche-Socola, C. Peña-Soto, and L. E. Arriola-Guillén, ‘Effectiveness and Recommendations for the Use of Dental Masks in the Prevention of COVID-19: A Literature Review’, *Disaster Med Public Health Prep*, vol. 15, no. 5, pp. E43–E48, Oct. 2021, doi: 10.1017/dmp.2020.255.
- [7] I. Abramovitz *et al.*, ‘Dental care during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: operatory considerations and clinical aspects.’, *Quintessence Int*, vol. 51, no. 5, pp. 418–429, 2020, doi: 10.3290/j.qi.a44392.
- [8] S. Darwish, K. El-Boghdadly, C. Edney, A. Babbar, and T. Shembesh, ‘Respiratory protection in dentistry’, *Br Dent J*, vol. 230, no. 4, pp. 207–214, Feb. 2021, doi: 10.1038/s41415-021-2657-0.
- [9] ‘Personal cold plasma “air curtain” design for COVID-19 protection moves forward | University of Michigan News’. <https://news.umich.edu/personal-cold-plasma-air-curtain-design-for-covid-19-protection-moves-forward/> (accessed Aug. 09, 2022).
- [10] A. Cristina De Oliveira E Silva *et al.*, ‘Limiting factors of face shield use for health professionals during the COVID-19 pandemic’, *Work*, vol. 70, pp. 355–363, 2021, doi: 10.3233/WOR-210542.
- [11] X. Wei, D. Yi, W. Xie, J. Gao, and L. Lv, ‘Protection against inhalation of gaseous contaminants in industrial environments by a personalized air curtain’, *Build Environ*, vol. 206, p. 108343, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.108343.
- [12] ‘1ºrelatorio_SETsa (Junho a dezembro 2020)’.
- [13] ‘CAPÍTULO 4 D DI IS SP PO OS SI IT TI IV VO OS S E EX XP PE ER RI IM ME EN NT TA AI IS S’.
- [14] F. G. Benedict, W. R. Miles, and A. Johnson, ‘The Temperature of the Human Skin’, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 5, no. 6, pp. 218–222, Jun. 1919, doi: 10.1073/PNAS.5.6.218.

- [15] N. Gao and J. Niu, ‘Transient CFD simulation of the respiration process and inter-person exposure assessment’, *Build Environ*, vol. 41, no. 9, pp. 1214–1222, Sep. 2006, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2005.05.014.
- [16] ‘2º RELATÓRIO TÉCNICO ATIVIDADE 2-Definição dos requisitos e especificações ATIVIDADE 3-Conceção, Design e modelação numérica da EPI ATIVIDADE 5-Testes de otimização 30 agosto 2021 PROJECTO N° 50511’.
- [17] ‘Previously issued numbers of Brtiel & Kjrer Technical Review’.

APÊNDICE A

"Normal"	Velocidade (m/s)							
Caudal (l/min)	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8
25	0.203634	0.182702	0.175565	0.227612	0.095117	0.096015	0.085824	0.717794
30	0.255859	0.243624	0.232507	0.309627	0.107647	0.101281	0.089767	0.977981
35	0.306159	0.272498	0.299005	0.387503	0.116208	0.11843	0.096565	1.267507
40	0.305508	0.300813	0.372044	0.471083	0.128569	0.136278	0.110278	1.582038
45	0.251465	0.317381	0.286646	0.556194	0.144489	0.146307	0.125006	1.847849
50	0.265889	0.378966	0.330618	0.643159	0.182937	0.165131	0.158452	2.1383

"Térmica"	Velocidade (m/s)							
Caudal (l/min)	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8
25	0.081829	0.069852	0.072956	0.138642	0.087151	0.098546	0.089136	0.600365
30	0.196158	0.124764	0.09484	0.225684	0.089597	0.092948	0.088143	0.877518
35	0.248049	0.212672	0.216311	0.27712	0.094615	0.098831	0.090706	1.115255
40	0.244416	0.270202	0.284864	0.352281	0.108581	0.117488	0.094973	1.416947
45	0.228166	0.317668	0.268184	0.421033	0.126921	0.130171	0.106414	1.735987
50	0.245104	0.382588	0.304427	0.518848	0.151303	0.13894	0.12301	2.047373

"Pulmão"	Velocidade (m/s)							
Caudal (l/min)	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8
25	1.451115	0.390083	0.148774	0.243512	0.619756	0.262947	0.13065	0.711584
30	1.461083	0.391001	0.181515	0.332655	0.628407	0.288422	0.141803	0.992849
35	1.45673	0.396726	0.247351	0.409231	0.641818	0.285877	0.149115	1.289576
40	1.457201	0.432709	0.318	0.493608	0.654386	0.260893	0.157328	1.569782
45	1.458017	0.490274	0.359393	0.564291	0.708292	0.251925	0.167494	1.875705
50	1.473519	0.545999	0.377514	0.626357	0.752681	0.261582	0.186841	2.169153

"Pulmão + Térmica"	Velocidade (m/s)							
Caudal (l/min)	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8
25	1.189232	0.28378	0.105033	0.159587	0.504091	0.249068	0.122444	0.584849
30	1.257687	0.311668	0.135359	0.248651	0.529055	0.269506	0.128171	0.905519
35	1.282759	0.324948	0.178048	0.322529	0.550165	0.255001	0.131025	1.202309
40	1.312953	0.380226	0.258364	0.432595	0.571387	0.227353	0.138464	1.492106
45	1.377	0.468115	0.311676	0.505481	0.603013	0.208113	0.142267	1.837218
50	1.380233	0.518326	0.344101	0.569524	0.668991	0.212671	0.164951	2.166629