

# **Qualidade do ar interior em habitações do Nordeste de Portugal: a influência dos sistemas de aquecimento doméstico**

**Fabiane Soares Lira**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito do Programa de Dupla Diplomação com a Universidade Federal Tecnológica do Paraná*

Orientado por  
**Prof. Doutor Manuel Feliciano**  
**Prof. Doutor Rafael Arioli**

Bragança  
2018

**Qualidade do ar interior em habitações do Nordeste de Portugal: a  
influência dos sistemas de aquecimento doméstico**

**Fabiane Soares Lira**

Orientado por

**Prof. Doutor Manuel Feliciano**

**Prof. Doutor Rafael Arioli**

Bragança

2018

## Resumo

Atualmente são imensas as evidências que mostram que a qualidade do ar no interior das habitações se apresenta mais deteriorada do que a qualidade do ar em ambientes exteriores. A exposição ao ar interior tem, por isso, um efeito negativo na saúde humana, principalmente de crianças e idosos. As fontes que emitem gases ou partículas para o ar, como os sistemas de aquecimento a biomassa lenhosa, podem ser a principal causa dos problemas de Qualidade do Ar Interior (QAI). Este estudo teve por objetivo avaliar alguns parâmetros da QAI em diferentes habitações localizadas na cidade de Bragança (Portugal) e arredores, com o objetivo de procurar inferir a influência de diferentes sistemas de aquecimento doméstico (e.g. sistemas elétricos, lareiras abertas, recuperadores a ar, salamandras, caldeiras a biomassa, a gás natural e a gasóleo) na qualidade do ar destas habitações. As medições foram realizadas em 13 moradias unifamiliares e 12 apartamentos entre os meses de janeiro e março de 2018. Em cada habitação, foi realizada a monitorização da fração fina de material particulado ( $PM_{2.5}$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), temperatura e humidade relativa por um período de aproximadamente 24 horas. As situações mais críticas de qualidade do ar foram observadas em residências que utilizam biomassa lenhosa como fonte de energia térmica em lareiras abertas, estando particularmente relacionadas com as elevadas concentrações de  $PM_{2.5}$  e CO. Durante o período de funcionamento destes sistemas registaram-se valores médios horários máximos de  $PM_{2.5}$  superiores a  $1400 \mu g/m^3$ . Em sistemas fechados de queima de biomassa, os valores de  $PM_{2.5}$  foram mais baixos, embora tenha sido igualmente registada a ocorrência de situações igualmente críticas. Além da queima de biomassa, os resultados demonstram que existem outras fontes que podem interferir substancialmente com os parâmetros de QAI analisados, como a queima de incenso, a cocção de alimentos e a entrada de ar contaminado do exterior. A adoção de rotinas diárias de ventilação natural através da abertura de janelas ou portas, antes, durante ou após a utilização das principais fontes de contaminantes do ar é importante para evitar a ocorrência de situações críticas para a saúde humana.

**Palavras-Chave:** *Monitorização, ar interior, residências, sistemas de combustão, material particulado, contaminantes gasosos*

## Abstract

Currently there is a lot of evidence showing us that the quality of the air inside the dwellings is more deteriorated than the air quality on the outside environments. Because of this, the exposition on the indoor air has a negative effect on the human health, specially when we talk about children and seniors. The sources that emit gases or particles into the air, such as woody biomass heating system may be the main cause of the indoor air problems. This study aimed to evaluate the parameters of the quality of indoor air in different rooms placed on the Bragança city (in Portugal) and around it, in order to infer the influence of different systems of heating (ex: electrical systems, open fireplace, air reclaimers, salamanders, biomass boilers, natural gas, and diesel fuel) on the quality of the air of this places. Measurements were taken in 13 single family townhouses and 12 apartments between January and March of 2018. In each townhouse was monitored the fine fraction of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO), total volatile organic compounds (TVOC), temperature and relative humidity, for a period of approximately 24 hours. The most critical situations about the quality of air were seen in townhouses that use woody biomass as sources of thermal energy in open fireplaces, that are related with the high concentration of CO and PM<sub>2.5</sub>. During the work of this combustion system we registered average hourly maximum values of PM<sub>2.5</sub> higher than 1400 µg/m<sup>3</sup>. In a closed biomass burning systems values of the PM<sub>2.5</sub> were smaller, but it has also been observed critical situations. In addition to biomass burning, main results demonstrate that there are other sources that can substantially interfere with IAQ parameters, such as incense burning, air fresheners, cooking and contaminated air from the outside. Adoption of daily routines assuring natural ventilation through opening windows before, during and after the use of the most significant pollution sources is and important action to avoid critical situations to human health.

**Key words:** *Monitoring, indoor air, residences, combustion systems, particulate matter, gaseous contaminants.*

*(Aos meus pais, Marcia Soares e Fabio Lira)*

## **Agradecimentos**

*Gostaria de agradecer primeiramente à minha família, em particular aos meus pais, à minha irmã, aos meus avós, aos meus tios e tias e às minhas queridas primas e primo, sem o apoio dos quais, nos dias nebulosos, esta etapa da minha vida teria sido ainda mais ardúa. Obrigado por terem estado do meu lado neste momento tão importante.*

*Aos meus orientadores Rafael Ariole e Manuel Feliciano, principalmente ao professor Feliciano, pois sem a sua ajuda a realização das medições teriam sido ainda mais difíceis e pela motivação dada na fase final e por todos os ensinamentos, o meu muito obrigada.*

*E por fim agradecer a Deus pela motivação diária.*

## ÍNDICE

Lista de Figuras .....	vii
Lista de Tabelas .....	ix
Abreviaturas e/ou siglas.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 QUALIDADE DO AR INTERIOR NAS HABITAÇÕES .....	4
2.1 Visão Geral .....	4
2.2 Principais Poluentes e seus efeitos na saúde.....	7
2.2.1 Material particulado (PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub> ) e Bioaerossóis .....	7
2.2.2 Poluentes Químicos Gasosos .....	11
2.2.2.1 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	11
2.2.2.2 Monóxido de Carbono (CO) .....	12
2.2.2.3 Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	12
2.2.3 Compostos Orgânicos Voláteis (COV) .....	13
2.2.3.1 Formaldeído (CH <sub>2</sub> O) .....	14
2.2.4 Radão.....	14
2.3 Principais fontes de poluição .....	15
2.3.1 Aquecimento Doméstico .....	15
2.3.1.1 Sistemas de Aquecimento Tipo Lareira .....	16
2.3.1.2 Sistemas de Aquecimento Tipo Salamandra.....	19
2.3.1.3 Sistemas de Aquecimento Tipo Caldeira .....	20
2.3.2 Confeção de alimentos .....	22
2.3.3 Limpeza e uso de ambientadores na habitação .....	24
2.3.4 Materiais de construção e mobiliário .....	25
2.4 Outros fatores ambientais .....	25
2.4.1 Ventilação das habitações .....	25
2.4.2 Temperatura e Humidade .....	28
2.5 Enquadramento legal .....	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34

3.1 Descrição Geral da Metodologia .....	34
3.2 Descrição da Área de Estudo .....	35
3.3 Seleção e Caracterização da Amostra .....	36
3.4 Questionários .....	39
3.5 Instrumentação e Procedimento de Medição .....	40
3.5.1 Instrumentação .....	40
3.5.2 Procedimento de Medição .....	41
3.6 Processamento de Dados .....	42
3.6.1 Avaliação das características de isolamento das habitações .....	42
3.6.2 Tratamento Estatístico e Representação Gráfica dos Dados .....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46
4.1 Análise de Informação dos Questionários .....	46
4.1.1 Ocupação e Período de Permanência dos Habitantes.....	46
4.1.2 Principais Atividades Desenvolvidas na Habitação com Influência na QAI.....	47
4.1.3 Sistemas de Aquecimento Utilizados e Grau de Satisfação dos Habitantes com os Mesmos .....	49
4.1.4 Características Construtivas Relacionadas com o Isolamento das Habitações .....	50
4.1.5 Percepção dos Habitantes relativamente à Qualidade do Ar Interior e Qualidade do Ar Ambiente e Conforto Térmico .....	51
4.2 Análise dos Parâmetros de QAI.....	52
4.2.1 Humidade Relativa e Temperatura do Ar .....	52
4.2.2 Dióxido de Carbono e Ventilação .....	56
4.3 Material Particulado.....	61
4.3.1 Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT).....	66
4.3.2 Monóxido de carbono (CO) .....	69
4.4 Avaliação da Influência dos Sistemas de Aquecimento na QAI .....	72
5 MEDIDAS DE MELHORIA DE QAI .....	77
5.1 Controlo da fonte emissora .....	77
5.2 Ventilação do ambiente como medida de melhoria da QAI.....	78
5.3 Purificação do ar .....	79
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	81
Referências Bibliográficas.....	83

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Doenças relacionadas com a QAI.....	4
Figura 2- Principais combustíveis utilizados no setor doméstico em Portugal (esquerda) e Bragança (direita) .....	6
Figura 3- Tamanho das partículas e locais onde podem ser encontradas no organismo humano .....	8
Figura 4- Emissão de PM <sub>2,5</sub> por setor de atividade em Portugal para 2015. ....	9
Figura 5- Exemplos de Lareiras abertas (em cima) e lareiras fechadas (em baixo). ....	17
Figura 6- Exemplos de Salamandras a Pellets.....	19
Figura 7- Exemplos de caldeiras .....	21
Figura 8- Distribuição do uso de energia na confeção de alimentos, em Portugal.....	23
Figura 9- Tipos de ventilação e suas vantagens .....	26
Figura 10- Diagrama conforto térmico .....	29
Figura 11- Panorama legal QAI.....	31
Figura 12- Esquema metodológico geral adotado no presente estudo. ....	34
Figura 13- Área de estudo .....	35
Figura 14- Dados meteorológicos de setembro de 2017/ agosto 2018.....	36
Figura 15- Sistemas de aquecimento de algumas das habitações da amostra de estudo. ....	37
Figura 16- Equipamento utilizado na avaliação de parâmetros de QAI. a) ADR-1200S Thermo Scientific b)IAQ 610 .....	40
Figura 17- Período de decaimento das concentrações de CO <sub>2</sub> usado no processo de estimativa da taxa de infiltração de ar para habitação onde os níveis foram registados.....	42
Figura 18- Ilustração da forma como as habitações foram agrupadas por sistema de aquecimento e combustível utilizado.....	44
Figura 19- Apresentação gráfica relativa à evolução temporal dos valores médios horários dos parâmetros de QAI adotada neste estudo. ....	44
Figura 20-Ilustração geral de um Boxplot com a representação interquartil e valores extremos. ....	45
Figura 21- Número de ocupantes por habitação.....	46
Figura 22-Período médio de permanência dos indivíduos em suas habitações.....	47

Figura 23-a) Utilização de espanadores e varredura; b) Utilização de produtos de limpeza; c) Utilização de têxteis, sprays, velas e incensos) Frequência na Cocção de alimentos .....	48
Figura 24- a) Principais sistemas de aquecimentos utilizados em Bragança b) Principais combustíveis utilizados .....	49
Figura 25- a) Sobre a eficácia do sistema de aquecimento pelos morados b) Se o morador investiria em outro sistema .....	50
Figura 26- Características de isolamento das paredes e vidrarias das habitações .....	51
Figura 27- Percepção dos moradores a respeito da qualidade do ar a) Interior b) Exterior .....	51
Figura 28- Percepção dos ocupantes a respeito do conforto térmico do espaço interior.....	52
Figura 29-Evolução temporal dos valores médios horários da humidade relativa e e temperatura do ar, para as diferentes habitações da amostra de estudo.....	53
Figura 30- Conforto térmico obtido através dos intervalos médios registados nas habitações .	55
Figura 31-Evolução temporal da concentração média horária de CO <sub>2</sub> (Esquerda); Distribuição interquartil das concentrações médias de 1 minuto de CO <sub>2</sub> , referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita) .....	57
Figura 32- Taxa de renovação do ar durante o período noturno (equivalente à taxa de infiltração da habitação).....	60
Figura 33- Evolução temporal da concentração média horária de PM <sub>2,5</sub> (esquerda) - Distribuição interquartil da concentração média de 1 minuto de PM <sub>2,5</sub> , referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita) .....	62
Figura 34-Evolução temporal da concentração média horária de COV (Esquerda) e Distribuição interquartil da concentração média de 1 minuto de COV referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita) .....	66
Figura 35- Evolução temporal da concentração média horária de CO (Esquerda); Distribuição interquartil das concentrações médias de 1 minuto de CO, referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita) .....	70
Figura 36- Concentrações medidas dos principais poluentes da QAI em todos os sistemas medido: (Esquerda) sem outlines.; (Direita) com outlines .....	73
Figura 37- Ilustração dos tipos de ventilação .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fontes de poluição e contaminantes associados.....	5
Tabela 2- Principais diretrizes para taxa de ventilação .....	27
Tabela 3- Limiares de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos. ...	32
Tabela 4- Condições de referência para contaminantes microbiológicos .....	33
Tabela 5- Características gerais das habitações.....	38
Tabela 6- Informações sobre a gama de medição dos poluentes, temperatura e humidade .....	41
Tabela 7- ANOVA e Teste de Tukey .....	75
Tabela 8- Purificadores e os poluentes filtrados.....	80

## ABREVIATURAS E/OU SIGLAS

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

QAI – Qualidade do ar interior.

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América

HVAC - Aquecimento, ventilação e ar condicionado

HAP – Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos

IARC - Agência Internacional para a Investigação sobre o Cancro

LMICs - Países de baixo e médio rendimento

NIOSH- National Institute for Occupational Safety and Health

OSHA- Occupational Safety and Health Administration

OMS – Organização Mundial da Saúde

PM<sub>2,5</sub>- Material Particulado com dimensão inferior a 2,5 micrometros

PM<sub>10</sub>- Material Particulado com dimensão inferior a 10 micrometros

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar no interior (QAI) das habitações tem sido muito estudada nas últimas décadas, sobretudo a partir de meados dos anos setenta do século XX, devido à crise energética sentida nesse período. Medidas para controlar o consumo energético, reduziram a taxa de renovação do ar no interior dos edifícios, causando uma acumulação de poluentes nestes ambientes (Brickus *et al.*, 2001; Salthammer, 2011).

A QAI corresponde à qualidade dentro e ao redor de edifícios, residências e de outras estruturas construtivas, apresentando elevada correlação com a saúde e o bem-estar dos seus ocupantes (EPA, 2008). Atribui-se grande relevância aos estudos da QAI, dado o facto de que é em espaços fechados como habitações, escritórios, creches, escolas e universidades que passamos cerca de 90% do dia, sendo as habitações um dos locais onde o Homem passa mais tempo, principalmente quando nos referimos a idosos e a crianças (Ginja *et al* 2012; EPA, 2008).

O interior das habitações é por vezes mais poluído do que o ar exterior, devido às suas fontes poluidoras como os próprios seres humanos, cocção de alimentos, produtos de limpeza, sistemas de aquecimento e consumo de tabaco. Além das fontes, a interação do ar interior com fatores como ventilação, humidade e a poluição exterior podem conduzir a elevados níveis de degradação do ar nesses ambientes (APA, 2009). Uma má qualidade do ar interior conduz a problemas de saúde, sobretudo a nível do sistema respiratório, imunológico, sistema nervoso e cardiovascular (Abreu, 2010).

Entre os principais componentes da poluição do ar interior evidenciam-se contaminantes de origem biológica como bactérias, fungos e ácaros e de origem não biológica como o monóxido de carbono, óxidos de azoto, dióxido de enxofre, ozono, material particulado e vários Compostos Orgânicos Voláteis (COV) (Schirmer *et al.*, 2011).

Durante a queima dos combustíveis utilizados no aquecimento das habitações e na confeção de alimentos são emitidos poluentes gasosos como monóxido de carbono (CO), óxidos de enxofre (SOx) e os óxidos de azoto (NOx) que são formados em variadas etapas do processo da combustão e em concentrações dependentes do tipo de sistema de queima e do combustível utilizado na queima. Quando perante combustões ineficientes,

compostos carcinogénicos como o benzeno podem ser mais abundantes (Leite, 2012). Além desses contaminantes gasosos, as partículas em suspensão (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>) com uma composição mais ou menos tóxica (e.g. metais pesados) são dos contaminantes que mais contribuem para a degradação da qualidade do ar interior (EPA, 2008).

Estudos anteriores têm demonstrado que várias ações desenvolvidas no interior das habitações (e.g., cozinhar, limpeza, trabalhos diversos, aquecimento) podem resultar em emissão e ressuspensão de material particulado, especialmente PM<sub>2.5</sub> (Coentro, 2015). Em Portugal um estudo realizado em habitações onde foram medidos poluentes como PM<sub>10</sub>, CO e COV observaram que em 60% das habitações estudadas, as concentrações destes poluentes ultrapassaram, em algum momento, os valores legais, alertando para a necessidade de desenvolvimento de mais estudos nesta área científica (Ginja, *et al* 2012).

Em virtude dos danos que o ar interior poluído causa na saúde humana, diversas medidas técnicas e legislativas têm vindo a ser implementadas com o objetivo de melhorar a QAI.

A ASHRAE Standard 62 de 1973, definida originalmente como “*Standard for Natural and Mechanical Ventilation*”, foi uma das primeiras normas técnicas sobre o assunto. Posteriormente, surgiram vários diplomas legais a nível nacional e internacional com o propósito de assegurar o controlo mais efetivo dos poluentes das atmosferas interiores (Moraes, 2006; A. Rodrigues, 2013).

Neste estudo foram avaliados parâmetros da qualidade do ar interior em diferentes habitações localizadas na cidade de Bragança (Portugal) e arredores, além de procurar inferir a influência de diferentes sistemas de aquecimento doméstico (e.g. sistemas elétricos, lareiras abertas, recuperadores a ar, salamandras, caldeiras a biomassa, a gás natural e a gasóleo) na qualidade do ar destas habitações.

Em habitações no nordeste de Portugal, em particular na cidade de Bragança, os dispositivos de aquecimentos mais utilizados, especialmente no inverno, são as lareiras, caldeiras e salamandras, os quais são na maioria alimentados por lenha, *pellets*, gás natural e gasóleo (Ferreira, 2012). Porém, o uso de alguns destes sistemas de aquecimento têm chamado a atenção da comunidade científica, devido a emissão de poluentes, que impactam na qualidade do ar interior e exterior (Williams *et al*, 2012).

Para o presente estudo as medições foram realizadas em 13 moradias unifamiliares e 12 apartamentos entre os meses de janeiro e março de 2018. Em cada habitação, foi realizada a monitorização da fração fina de material particulado ( $PM_{2,5}$ ) dióxido de carbono ( $CO_2$ ), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), temperatura e humidade relativa por um período de aproximadamente 24 horas. Para tanto utilizou-se os aparelhos com o princípio de medição light-scattering para a medição de partículas  $PM_{2,5}$  e para compostos orgânicos voláteis, humidade relativa, monóxido e dióxido de carbono, a medição realizou-se com recurso a um equipamento da Graywolf – a sonda IQ610.

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos. No primeiro capítulo é apresentada a contextualização do tema e os objetivos propostos para este estudo. O segundo capítulo apresenta, numa fase inicial, os aspectos gerais da qualidade do ar interior, abrangendo um breve enquadramento sobre QAI, seguindo-se uma descrição dos principais poluentes, com destaque para os emitidos pelos sistemas de queima. Ainda neste capítulo são apresentados os principais fatores influenciadores da QAI, e os parâmetros legais dos poluentes analisados. O terceiro capítulo tem-se a descrição de como o estudo ocorreu e a metodologia utilizada para obter os objetivos propostos, além de informações e caracterização da área de estudo, e sobre o tratamento dos dados. O capítulo 4 os resultados obtidos durante o período de pesquisa do trabalho são apresentados e posteriormente discutidos. O capítulo 5 apresenta as principais medidas para que a QAI possa ser mantida e, por fim, o capítulo 6 onde são tecidas as considerações finais do estudo.

## 2 QUALIDADE DO AR INTERIOR NAS HABITAÇÕES

Neste capítulo, apresentam-se as principais fontes e poluentes encontrados nas atmosferas interiores das habitações, discutem-se fatores que a influenciam (e.g. a ventilação dos espaços) e faz-se um breve enquadramento legal.

### 2.1 Visão Geral

Há uma diversidade de poluentes encontrados nos ambientes interiores, variando quanto a características físicas, químicas e biológicas, além das suas respectivas concentrações (Rumchev *et al.*, 2017). Para a Organização Mundial da Saúde (OMS), a qualidade do ar interior é considerada um dos oito fatores de risco mais importantes, que se justifica pelo elevado número de doenças associadas a este assunto, 2,7% das doenças em todo o mundo (Rumchev *et al.*, 2017).

Em 2010, um relatório realizado pela OMS revelou que a poluição atmosférica foi responsável por 7 milhões de mortes, sendo metade dessas mortes associadas a poluição do ar interior, provenientes da queima de carvão e lenha. Na Figura 1 apresentam-se as principais doenças relacionadas com a poluição interior.

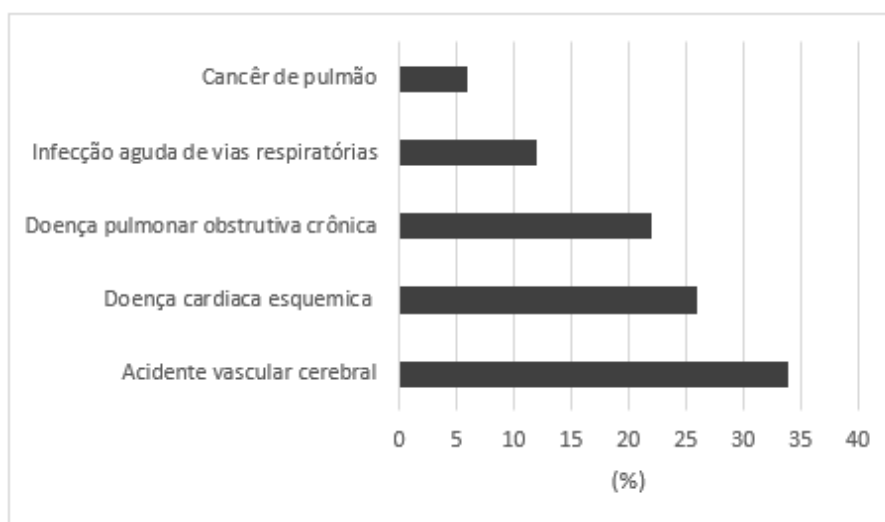


Figura 1-Doenças relacionadas com a QAI

Fonte: Adaptado de OMS (2010).

A OMS (2010) estima que a poluição do ar interior esteve associada, a 4,3 milhões de óbitos, em famílias que utilizavam fogões, com combustíveis primários como carvão e madeira. Entre as principais doenças associadas, 34% foram relacionadas com acidentes vasculares cerebrais.

A poluição do ar no interior das habitações apresenta associação à presença de sistemas de aquecimento doméstico como lareiras, recuperadores, caldeiras, salamandras e principalmente ao tipo de combustível associado ao funcionamento destes. Outras fontes são ainda responsáveis pela contribuição da poluição nestes ambientes, como emissões resultantes dos materiais de construção, cocção de alimentos e produtos de limpeza. (Jones, 1999; OMS, 2010). Na Tabela 1, de uma forma geral, estão identificadas as principais fontes emissoras e poluentes gerados pelas mesmas.

Tabela 1- Fontes de poluição e contaminantes associados

Fonte de poluição	Contaminantes
Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, laca, solventes e sistemas de aquecimento.	Compostos Orgânicos Voláteis (COV)
Habitantes, queima de combustíveis fósseis, (gás, aquecedores, etc.).	Dióxido de carbono
Madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia – formaldeído, tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico.	Formaldeído
Água estagnada em sistemas de HVAC, materiais molhados e húmidos, desumidificadores, condensadores das torres de arrefecimento (chillers), torres de refrigeração.	Matéria microbiana
Emissões de veículos (garagens, entradas de ar), combustão, fumo do tabaco.	Monóxido de carbono
Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de HVAC, limpezas, sistemas de aquecimento	Partículas
Colocação imprópria dos dispositivos de medição (termostatos), deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.	Temperatura e valores extremos de humidade
Medidas de poupança de energia e manutenção, má concepção do projeto do sistema de HVAC, operação deficiente de funcionamento, alteração do sistema de funcionamento do HVAC pelos ocupantes, concepção desajustada dos espaços em avaliação.	Ventilação inadequada

Fonte: Adaptado de APA (2009).

As emissões resultantes da combustão doméstica dependem, principalmente, da composição química do combustível e das condições na qual este processo ocorre como temperatura, disponibilidade de oxigénio e o tempo de queima (McDonald *et al.*, 2000).

Na Figura 2 tem-se uma panorâmica geral dos principais combustíveis utilizados no setor doméstico em Portugal para o ano de 2011 e para o ano de 2012 o consumo estimado para Bragança.

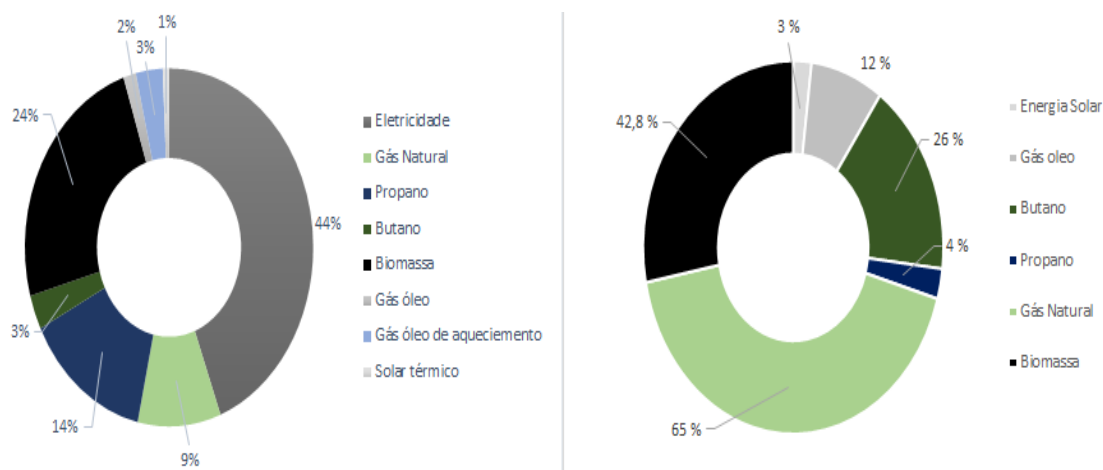


Figura 2- Principais combustíveis utilizados no setor doméstico em Portugal (esquerda) e Bragança (direita)

Fonte: DGEG (2011), Ferreira (2012).

As combustões realizadas em ambientes interiores visam sobretudo a obtenção de energia térmica, a qual é frequentemente usada na preparação de alimentos, no aquecimento de águas sanitárias e do ar interior.

Segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2011), a energia elétrica representava a principal fonte energética no setor doméstico em Portugal com uma contribuição de 44%, seguindo-se a biomassa com um contributo de 24%, sendo esta última utilizada principalmente na cocção de alimentos, ou em sistemas de aquecimento (INE,2011).

O consumo energético estimado para o setor doméstico em Bragança no ano de 2012, foi de 65 % para o gás natural (Azevedo *et al.*, 2016), sendo que o gás natural emite menores quantidades de gases tóxicos e gases de efeito estufa, se comparado a outros

combustíveis, e emite quantidades bem mais reduzidas de NO<sub>x</sub> e de material particulado (Guariero *et al*, 2011).

A segunda maior fonte de energia no setor doméstico foi a biomassa com uma contribuição de aproximadamente 43% (Azevedo *et al*, 2016). Apesar de ser considerada uma fonte renovável e apresentar pontos positivos por ser mais acessível, é uma fonte potencial de emissão de PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>, trazendo malefícios para a saúde humana.

Estudos realizados por (Coentro, 2015) indicaram que os indivíduos ficam mais expostos a concentrações elevadas de poluentes quando estão perto de fontes específicas, como lareiras abertas na qual as concentrações de partículas de COV, CO e CH<sub>2</sub>O ultrapassaram os valores limites previstos na legislação. Além das lareiras, o mesmo autor constatou que as atividades realizadas na cozinha como a confeção de alimentos (e.g. fritos em fogão a gás), conduzem à excedência dos limites legais relativos a COV e CH<sub>2</sub>O.

Segundo estimativas obtidas para a cidade de Bragança (Portugal), a combustão residencial de biomassa lenhosa é responsável pela emissão de 1.400 toneladas de poluentes atmosféricos (PM, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, COV e PAH) e cerca de 28.000 toneladas de gases de efeito estufa como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, que afetam negativamente o ar exterior e interior (Ferreira, 2012).

## 2.2 Principais Poluentes e seus efeitos na saúde

### 2.2.1 Material particulado (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>) e Bioaerossóis

O material particulado (PM) refere-se a partículas líquidas ou sólidas de dimensões, composição e estruturas diferentes. As partículas primárias são as emitidas diretamente pelas suas fontes e as partículas secundárias as que resultam de reações químicas complexas e de outros processos físicos que ocorrem na atmosfera (PHE, 2017).

As dimensões das PM determinam os seus efeitos na saúde humana, sendo as partículas PM<sub>10</sub> as que entram no sistema respiratório (fração inalável), as partículas menores PM<sub>2,5</sub> penetram além da laringe (fração torácica), e a fração respirável PM<sub>1,0</sub> pode ser encontrada até nos alvéolos pulmonares. A Figura 3 apresenta a relação entre o

tamanho das partículas e a sua capacidade de penetração no sistema respiratório do organismo humano.

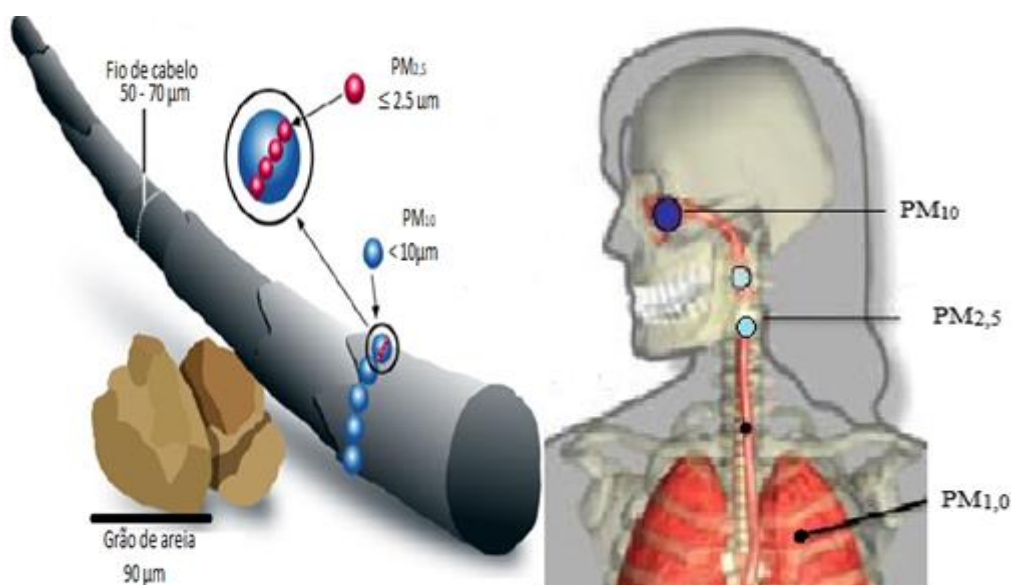


Figura 3- Tamanho das partículas e locais onde podem ser encontradas no organismo humano

Fonte: Adaptado de EPA (2016) e de Guarieiro et al (2011)

As partículas, particularmente a fração mais fina, penetram no sistema respiratório e podem atingir a corrente sanguínea, sendo muito tóxicas para o organismo humano, causando doenças como a asma crônica e mortes prematuras (Yoshida *et al*, 2005).

O material particulado PM<sub>10</sub> é um poluente composto por misturas de partículas presentes no ar, como orgânicas, inorgânicas, sólidas, líquidas com origens diversas. São classificadas conforme o tamanho e a capacidade de penetrar no sistema respiratório, podendo atingir apenas a parte superior do trato respiratório ou os alvéolos pulmonares (ISO,1995).

As PM<sub>2,5</sub> são as partículas como fuligem, cinzas de carbono ou fumo com tamanho igual ou inferior a 2,5 micrómetros. São produzidas através da combustão incompleta de combustíveis fósseis e biomassa ( Yin *et al*, 2000). Devido às suas dimensões podem penetrar nos pulmões e na corrente sanguínea, sendo perigosas em qualquer concentração. Em 2013, a Agência Internacional de Pesquisa sobre Cancro (IARC) constatou que o material particulado é carcinogénico (UNEP, 2014).

As partículas influenciam as mudanças climáticas, de forma que a queima de combustíveis contribui com 25% das emissões globais de carbono, um dos principais componentes da PM<sub>2.5</sub> (OMS, 2010). Considerando que a poluição do ar doméstica causa mais de 3 milhões de mortes prematuras por ano, a poluição gerada com a cocção de alimentos contribui sozinha com 12% da matéria atmosférica global de PM<sub>2.5</sub> (OMS, 2010). Na Figura 4 tem-se o cenário de emissão de partículas para o ano de 2015.

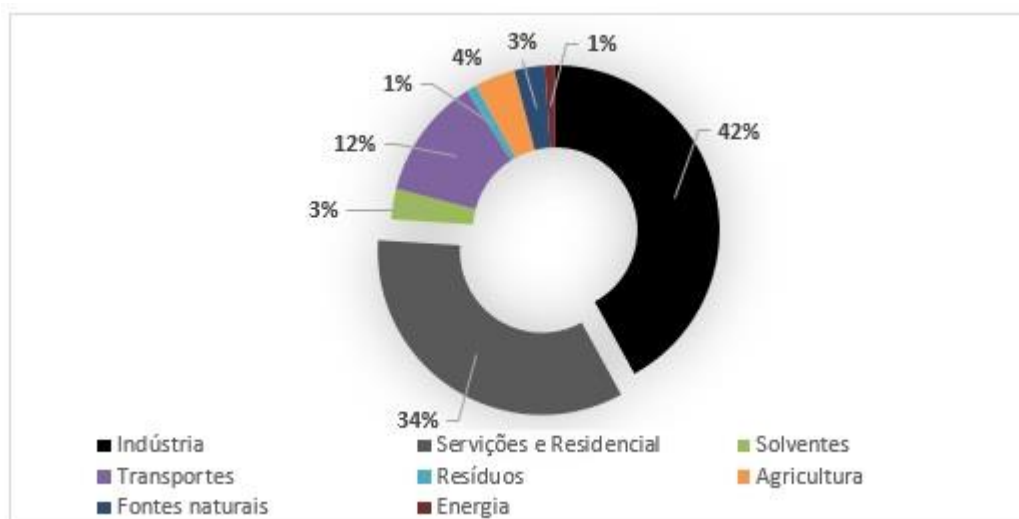


Figura 4- Emissão de PM<sub>2.5</sub> por setor de atividade em Portugal para 2015.

Fonte: Adaptado Pereira et al. (2017).

Em 2015, o total de emissões das partículas PM<sub>2.5</sub> foi de 47,6 kt em Portugal, sendo que 42% são emitidas pelo setor industrial, e 34% pelos setores de serviços e residencial (Pereira *et al.*, 2017). A OMS estabeleceu como valores de referência para partículas finas PM<sub>2.5</sub> níveis médios de 10 µg.m<sup>-3</sup> e 25 µg.m<sup>-3</sup> por um período de 24 horas.

Estudos indicam que em grandes cidades em países de baixo e médio rendimento (LMICs) ultrapassam esses níveis, como em Katmandu, no Nepal, que apresentou níveis de PM<sub>2.5</sub> de 500 µg.m<sup>-3</sup> (UNEP, 2014).

Medições de PM<sub>2.5</sub> em habitações na Índia indicaram um forte impacto na saúde dos moradores, principalmente em residências onde era permitido fumar, sendo a concentração média diária de PM<sub>2.5</sub> de 3,8 mg.m<sup>-3</sup>, valor que excede o recomendado pela

OMS de 0,025 mg.m<sup>-3</sup>. Nessas residências os moradores relataram em 43% dos casos, tosse e em crianças 23% corrimento nasal (Rumchev *et al.*, 2017).

Os Bioaerossóis são partículas de origem biológica derivadas de endotoxinas, micotoxinas e fragmentos, por exemplo de agentes alergénicos de origem animal. Podem causar uma série de transtornos a saúde como alergias, infecções e intoxicações (Cabral, 2004).

A avaliação microbiológica em espaços interiores teve início da década de 50, quando as infecções se tornaram comuns em alguns hospitais, sendo uma das causas dessas infecções a propagação dos microrganismos pelos sistemas de ventilação. Na Europa e América do Norte realizaram-se estudos que relacionaram certas doenças com as condições dos espaços interiores, sendo que os habitantes dos espaços apresentavam sintomas como tosse, dores musculares e mal-estar (Prado, 1999).

Os poluentes biológicos que afetam a qualidade do ar interior são encontrados em diferentes concentrações nos mais variados espaços seja em indústrias, escritórios, escolas e habitações (Batista, 2008).

Entre os poluentes mais importantes destacam-se os fungos e as bactérias que são libertados tanto pelos indivíduos, quanto pelos animais domésticos. Para que haja o crescimento desses poluentes são consideradas uma série de situações favoráveis ao seu crescimento e multiplicação, como valores elevados para humidade, ventilação reduzida, edificações com bom isolamento a infiltrações de ar e sistemas de aquecimento (Batista, 2008).

Um dos contaminantes biológicos mais preocupantes em QAI é a *Legionella pneumophila*, uma bactéria que se desenvolve na água e é difundida nos aerossóis, podendo causar infecções e pneumonia (Cabral, 2004).

Para amenizar a poluição biológica e melhorar a QAI é necessário evitar ou manter em níveis mínimos o crescimento dos microrganismos. Para tanto podem ser tomadas algumas medidas como manter a humidade relativa do ar menor que 60%, remover materiais orgânicos infectados como tapetes embolorados, utilização de filtros eficientes no sistema de captação de ar externo, e para controlar a entrada de esporos de fungos e outros contaminantes é importante trocar os filtros com frequência (Prado, 1999).

## 2.2.2 Poluentes Químicos Gasosos

### 2.2.2.1 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

O dióxido de carbono é um gás incolor e inodoro presente nas atmosferas interiores que influencia a qualidade do ar. Além de poder atingir concentrações prejudiciais para o desempenho cognitivo e para a saúde humana, o teor de CO<sub>2</sub> em atmosferas interiores fornece informação relevante relativamente às condições de ventilação.

Em espaços interiores, o CO<sub>2</sub> provém geralmente, do metabolismo humano, sendo exalado a uma taxa de aproximadamente 0,3 L/min (APA,2009).

Em ambiente exterior os níveis de dióxido de carbono em cidades grandes são geralmente superiores a 400 ppm (Jardim *et al.*, 2015), enquanto no interior das habitações são esperadas no mínimo concentrações similares às encontradas nos ambientes exteriores (APA, 2009; Jardim, *et al.*,2015).

Embora as concentrações de CO<sub>2</sub> nos espaços interiores atinjam frequentemente valores de 800 ppm, podem, em muitos casos, atingir níveis de desconforto e prejudiciais para a saúde que causam dores de cabeça, cansaço e falta de ar. A monitorização deste constituinte é legalmente obrigatória pelo facto de fornecer informação sobre a taxa de ventilação dos ambientes fechados e, conseqüentemente, da qualidade do ar (APA, 2009; Jardim, *et al.*,2015).

O CO<sub>2</sub> apresentou em alguns estudos uma relação com a temperatura, tendo sido observado em ambientes com aproximadamente 30 indivíduos, níveis superiores a 1500 ppm e um aumento de 5 °C na temperatura do ar, sendo, por isso, igualmente considerado um fator preponderante na avaliação do conforto térmico (Chatzidiakou *et al.*, 2015). E ainda para este mesmo estudo notou-se que a diminuição desses níveis para 1000 ppm, através do aumento da taxa de ventilação, trouxe benefícios na QAI referente também a material particulado, melhorando as concentrações consideradas seguras para a OMS (Chatzidiakou *et al.*, 2015), confirmando que os índices que indicam a qualidade do ar estão inter-relacionados.

#### 2.2.2.2 Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono (CO) é um gás proveniente da combustão incompleta, apresentando um risco elevado para a saúde humana, por ser um gás incolor, inodoro e tóxico. A poluição por esse gás ocorre quando, associado a uma ou mais fontes de emissão, não existe uma ventilação adequada, acabando por conduzir à sua acumulação no ambiente interior fechado. Uma das fontes de combustão mais importantes deste poluente são os sistemas de aquecimento como lareiras e outros cujo processo de combustão é menos eficiente (APA, 2009).

A avaliação desse poluente torna-se importante por ser altamente tóxico. O CO atua no corpo humano reduzindo o transporte de oxigênio para as células e dependendo dos níveis de exposição, pode causar confusão, dores de cabeça, náuseas, dores no peito, entre outros. As concentrações que causam esses sintomas podem variar de indivíduo para indivíduo, levando em consideração as atividades praticadas, e também fatores ambientais (APA, 2009; Maga *et al.*, 2017; Sykes & Walker, 2016).

Os níveis recomendados de monóxido de carbono para que não haja efeitos nocivos na saúde para uma exposição de 8 horas é de  $10 \text{ mg.m}^{-3}$ , considerando uma concentração média e que o indivíduo realize a atividade de baixa a moderada intensidade,  $7 \text{ mg.m}^{-3}$  para uma exposição de 24 horas na qual os indivíduos estejam acordados e alertados, mas não se exercitando. E ainda considerando exposições de 15 minutos ao CO, a concentração indicada é de até  $100 \text{ mg.m}^{-3}$  e para uma hora concentração de  $35 \text{ mg.m}^{-3}$ , assumindo exercícios leves e que a exposição não ocorra com uma frequência maior que uma vez ao dia (OMS, 2010).

#### 2.2.2.3 Ozono (O<sub>3</sub>)

O ozono (O<sub>3</sub>) é considerado um gás instável e reativo. É um poluente secundário, sendo considerado um dos principais oxidantes fotoquímicos do ar. A origem de ozono no ar interior está associada a purificadores de ar eletrostáticos, impressoras a laser, fotocopiadoras, e, ainda, ao transporte de O<sub>3</sub> do exterior para o interior (APA, 2009;

Weschler, 2000). Para fotocopiadoras e impressoras a laser estudos já apontaram uma emissão média de respectivamente  $2 \text{ mg.h}^{-1}$  e  $1,2 \text{ mg.h}^{-1}$  (Weschler, 2000).

As concentrações de  $\text{O}_3$  no ar interior variam de 10 a 80% dos níveis exteriores, que por sua vez são muito influenciados pela radiação e pela temperatura do ar. A variação dos níveis de ozono é adicionalmente influenciada por fatores como a infiltração de ar, a circulação e a insuflação do ar de sistemas AVAC, a concentração desse gás em ambientes interiores encontra-se na faixa de 0,12 a 0,80 ppm (APA, 2009).

Biologicamente o ozono pode causar a oxidação ou peroxidação biomolecular direta ou através de reações de radicais livres, podendo gerar a perda de grupos funcionais de enzimas, alterando a permeabilidade da membrana celular. A exposição excessiva ao  $\text{O}_3$  pode causar sérios problemas respiratórios, lesão pulmonar, problemas no baço, sangue, sistema nervoso (Magalhães, 2014).

### 2.2.3 Compostos Orgânicos Voláteis (COV)

Os Compostos orgânicos voláteis são compostos químicos que apresentam um ponto de ebulição entre 50 e 250 °C. Os COV incluem um elevado espectro de compostos, sendo difícil a identificação individual dos mesmos. Para as medições interiores é considerada usualmente, numa primeira avaliação, a concentração dos COVT (Compostos Orgânicos Voláteis Totais), a qual não permite identificar os diferentes compostos orgânicos voláteis presentes no local (APA, 2009; EPA, 2008).

Para os COVT foram estabelecidos pela comunidade europeia um valor até  $0,3 \text{ mg.m}^{-3}$  como sendo uma quantidade satisfatória, sendo que nenhum COV presente poderia exceder 10% da concentração de COVT. Para intervalos entre  $0,3$  e  $3 \text{ mg/m}^3$ , podem surgir odores, irritações e desconfortos (APA, 2009).

O impacto dos compostos orgânicos voláteis na qualidade do ar interior e na saúde humana é amplamente reconhecido (Cipolla *et al.*, 2017). Os COV causam irritações nos olhos e garganta, dores de cabeça, náuseas, danos a órgãos como fígado e rins e ao sistema nervoso central (EPA, 2008).

### 2.2.3.1 Formaldeído (CH<sub>2</sub>O)

O formaldeído é um COV específico e muito relevante em atmosferas interiores, por ser bem característico tem limiares de concentração específicos, por isto está sendo abordado neste subitem separadamente do item 2.2.3.

É um gás incolor que apresenta odor que causa incómodo em concentrações superiores a 0,2 ppm. Quando em concentrações médias acima de 0,5 ppm, por períodos superiores a 8 horas, pode causar sensibilidade na mucosa da boca, garganta seca, dores de cabeça, ardor nos olhos, náuseas e falta de ar (APA, 2009; Slezakova *et al*, 2012).

Exposições a concentrações de 0,36 mg.m<sup>-3</sup> por um período de quatro horas conduzem a irritação das mucosas oculares. Para concentrações de 0,6 mg.m<sup>-3</sup> aparecem sintomas como vermelhidão e incomodo nos olhos (OMS, 2010).

Recomenda-se como prevenção que o indivíduo não fique exposto a concentrações de 0,1 mg.m<sup>-3</sup> por um tempo superior a trinta minutos. Segundo a OMS (2010) não está identificada qualquer acumulação de efeitos para exposição prolongada.

### 2.2.4 Radão

O radão é um gás inerte e radioativo, formado pelo decaimento natural do urânio que está presente em alguns solos. O radão pode ser encontrado em ambientes interiores, advindo de rachas presentes na construção de edifícios e de habitações e acumular-se em locais mal ventilados (APA, 2009; Slezakova *et al*, 2012).

No inverno as janelas costumam ficar fechadas e os sistemas de aquecimento ligados, gerando um gradiente térmico já que as temperaturas interiores são superiores às temperaturas exteriores. Os níveis de ar quente nos ambientes aumenta, gerando uma diferença de pressão nas partes inferiores, essa sucção no nível inferior causa um arraste do radão do solo para a habitação (APA, 2009).

Os níveis recomendados de Radão para minimizar os riscos à exposição interna é de 100Bq.m<sup>-3</sup>. Caso esse nível não atenda às condições específicas do país, o nível não deve exceder a 300 Bq.m<sup>-3</sup> (OMS, 2010).

## 2.3 Principais fontes de poluição

### 2.3.1 Aquecimento Doméstico

Nos tempos atuais, em particular nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, é frequente equipar as habitações com sistemas de aquecimento de águas sanitárias e do ar interior. Existem múltiplos sistemas para alcançar este objetivo, mas nem todos apresentam os mesmos custos, os mesmos rendimentos térmicos nem tão pouco o mesmo impacto sobre o ambiente, em particular sobre o ar interior e exterior.

Os aquecedores a gás portáteis emitem quantidades residuais de partículas, e podem libertar quantidades excessivas de NO<sub>x</sub> no ambiente interior, além de criar riscos de envenenamento por monóxido de carbono. Os sistemas de aquecimento central, em que um dado combustível é queimado no interior de uma caldeira a gás, aquecendo a água ou outro fluído, geralmente asseguram um ambiente interior mais limpo. No entanto, os sistemas que queimam gasóleo tendem a libertar material particulado em quantidades mais elevadas, em particular para a atmosfera exterior, contribuindo para a poluição do ar ambiente, bem como para as mudanças climáticas em resultado das emissões de CO<sub>2</sub> e de carbono negro. Os sistemas de aquecimento central que operam com gás natural ou combustíveis de gás liquefeito de petróleo geralmente emitem muito menos material particulado e carbono negro, assim como emissões de CO<sub>2</sub> mais baixas. Em ambos os casos podem ocorrer a contaminação do ar interior, em função das condições de operação e de manutenção dos sistemas.

Importa, todavia, realçar que cerca de 3 biliões de pessoas espalhadas por todo o mundo ainda usam combustíveis sólidos (madeira, carvão vegetal, resíduos agrícolas e carvão) queimados em fogões ineficientes para cozinhar e aquecer, e cerca de 1,2 biliões dispõem de luz em suas casas com uma simples lâmpada de querosene (IEA, 2015). Estas práticas energéticas domésticas emitem grandes quantidades de partículas prejudiciais para a saúde e poluentes que contribuem para o aquecimento global (por exemplo, carbono negro) para o ambiente doméstico, aumentando o risco de doenças respiratórias, incluindo pneumonia infantil e doença pulmonar obstrutiva crónica, doenças cardiovasculares e cancro do pulmão (IEA, 2015).

Estima-se que a exposição à poluição do ar gerada pelo preparo de alimentos em fogões de biomassa ineficientes levou a uma estimativa de 4,3 milhões de mortes em 2012. Isso não inclui riscos relacionados com o uso de iluminação ineficiente como velas ou lâmpadas de querosene. Os dados também não consideram mortes ou doenças relacionadas com o uso de sistemas de aquecimento de carvão, querosene ou biomassa, que também podem emitir grandes quantidades de fumaça carregada de partículas diretamente no interior das habitações ou na envolvente externa.

De acordo com Salthammer *et al.* (2014) o uso de fontes de calor através da combustão de materiais lenhosos recuperou a sua popularidade nos últimos anos, devido ao aumento dos custos de energia. Em países como a Alemanha a utilização de lenha como combustível para aquecimento tem ganhado espaço face ao elevado preço dos combustíveis fósseis, tais como o gás natural e o gasóleo de aquecimento (Gonçalves, 2008).

Gennaro *et al.* (2015) estima que 50% da população mundial, utiliza biomassa como um dos combustíveis mais comuns no aquecimento de ambientes interiores, os quais promovem a libertação de uma quantidade considerável de material particulado (PM) e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP).

Os pellets são biocombustíveis sólidos comuns, produzidos a partir da biomassa, são granulados de resíduos de madeira prensada, são utilizados para fins domésticos e para produção de energia. A produção de pellets é considerada como uma técnica de geração de energia renovável e de proteção ambiental uma vez que é advinda da biomassa triturada.

#### 2.3.1.1 Sistemas de Aquecimento Tipo Lareira

De acordo com Coentro (2015), a lareira é um equipamento doméstico com sistema de aquecimento por combustão de grande utilidade na Europa, especialmente no período de inverno, as quais podem ser construídas de forma aberta, sendo composta por uma câmara de combustão ligada à chaminé, ou de forma fechada, a qual é embutida e equipada com uma porta frontal e com um sistema de recuperação de calor que permite maior eficiência de aquecimento. A Figura 5 ilustra alguns tipos de lareiras.



Figura 5- Exemplos de Lareiras abertas (em cima) e lareiras fechadas (em baixo).

As lareiras a lenha são fontes potenciais de contaminantes, especialmente partículas ultrafinas como  $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$  (Salthammer *et al.*, 2014). Em Portugal, estima-se que a combustão doméstica contribui com 16,2% das emissões totais de  $PM_{10}$ , especialmente pelo uso das lareiras, sendo que, em países onde os invernos são mais prolongados e rigorosos, as emissões de material particulado são ainda mais significativas (Gonçalves, 2008).

Segundo Ferreira (2012), apesar do desenvolvimento de sistemas de queima mais limpa para a saúde humana, verifica-se ainda uma grande predominância de lareiras e fogões antigos no nordeste de Portugal, com elevadas cargas de poluentes emitidos no ar.

No caso de lareiras abertas, a emissão de poluentes através da combustão de material lenhoso assemelha-se a sistemas de aquecimento como fogões, tendo sido observado por Lee *et al* (2002), concentrações médias de  $42,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  e  $126,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , de  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$ , respectivamente, e concentrações médias entre 0,5 e 3,3 ppm de CO em domicílios da área rural da Costa Rica.

Uma média simultânea de CO e PM<sub>2,5</sub> de 36,03 ppm e 13.361 µg.m<sup>-3</sup> foi reportada para residências situadas na área rural do Nepal que utilizavam fogão a lenha tradicional (Parajuli *et al.*, 2016).

Segundo Zhang *et al* (2015), em fontes de calefação como lareiras abertas e fogões, a queima de combustíveis é geralmente incompleta e ineficiente, produzindo elevados níveis de material particulado com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>) e desprendimento de monóxido de carbono (CO).

Em casas com aquecimento por lareiras e fogões a lenha, há uma grande heterogeneidade de impactos na qualidade do ar interior em termos de magnitude e comportamento das concentrações de poluentes, os quais podem ter sofrido influência de fatores como modos de ignição, alimentação e controlo da chama, dimensões da sala, ventilação para a dispersão da poluição e tipo de lareira (Gennaro *et al.* 2015) .

As lareiras com recuperador de calor têm um aproveitamento energético de até 70% e menor emissão de poluentes, ocorre menor consumo de lenha, se comparado com a lareira aberta, pois, a combustão ocorre em espaço fechado evitando a saída de fagulhas e fumo para o exterior. Estudos realizados em Portugal constataram que os recuperadores de ventilação forçada apresentaram-se mais eficientes relativamente à emissão de CO, além de mais económicos que outros sistemas de aquecimento (Sousa *et al*, 2001).

Coentro (2015) num estudo comparativo sobre a qualidade do ar interior em residências do concelho de Palmela, distrito de Setúbal, área metropolitana de Lisboa, registou concentrações mais elevadas de COV nos ambientes com lareiras abertas alimentadas a lenha de pinho do que em sistemas alimentados por briquetes, o mesmo foi observado para o CH<sub>2</sub>O.

Do mesmo modo, estudos realizados por Salthammer *et al.* (2014), em residências na Alemanha, indicaram que as lareiras a lenha emitiam potenciais poluentes entre eles partículas ultrafinas, principalmente quando a câmara de combustão era aberta para colocar mais lenha, libertando para o ambiente estas partículas além de outros produtos da combustão. Os autores também observaram que fatores como as condições climáticas e material utilizado para queima influenciaram o estudo da qualidade do ar interior.

### 2.3.1.2 Sistemas de Aquecimento Tipo Salamandra

De acordo com Silva (2007), as salamandras são equipamentos completamente fechados, ideais para aquecer espaços pequenos, as quais possuem custo menos oneroso quando comparados a lareiras e podem ser instaladas em qualquer espaço sem necessidade de encastre na parede, como pode ser visto na *Figura 6*.



Fonte: Amazém, 2018. Disponível: <https://amazemreisonline.pt/loja/climatizacao/caloriferos/salamandras/salamandra-easy-pellets/>



Fonte: B-shop, 2018. Disponível: <https://www.b-shop.pt/compra/salamandra-de-pellets-a-ar-lua-7kw-429>

Figura 6- Exemplos de Salamandras a Pellets.

Os modelos modernos têm eficiência e rendimentos semelhantes aos recuperadores. A salamandra é considerada um sistema de aquecimento eficiente, uma vez que é restituído em média 60 a 80% do calor produzido pela combustão. A eficiência está associada ao tipo de salamandra e combustível utilizado (Silva, 2017).

Em geral, as fontes de alimentação das salamandras são *pellets* ou lenha, que segundo Merlin (2008) é considerado duas vezes mais económico do que a eletricidade ou gás. Outro fator justificado por Garcia *et al.* (2013) sobre o uso de *pellets* é que estes possuem grande potencial para suprir as necessidades atuais de energia com menor impacto ambiental (Silva, 2017).

Para Garcia *et al.* (2013), os *pellets* de madeira tornaram-se uma escolha popular como fonte de biomassa para combustão, devido à facilidade de transporte, armazenamento e utilização em ambientes domiciliares. Esta informação vai de encontro à situação vivenciada em Portugal, que, entre 2010 e 2013, quase triplicou o consumo de *pellets* passando de 43 para 123 mil toneladas. No ano de 2014 este aumento prosseguiu até alcançar patamares de produção de 1 milhão de toneladas e consumo interno de 200 mil toneladas dos quais 60% representam o consumo no setor doméstico (Silva, 2017).

Devido à facilidade de instalação, Santos (2010) observou o uso da salamandra em espaços escolares como salas de aulas situadas no concelho da Maia, distrito do Porto, pertencente à área metropolitana do Porto. Neste estudo, os dados das análises demonstraram aumento acentuado da concentração de CO, atingindo valores de 9 ppm, justamente no período que este equipamento de combustão foi acionado.

Contudo, além da preocupação com a libertação de monóxido de carbono (CO) existe um impacto na qualidade do ar interior, devido ao desprendimento de compostos orgânicos voláteis (COV) os quais podem causar efeitos distintos na saúde humana, podendo agravar-se e ter como consequências lesão hepática, dano renal e afetação do sistema nervoso central (Wolkof *et al.*, 1997; Silva, 2017).

#### 2.3.1.3 Sistemas de Aquecimento Tipo Caldeira

De acordo com Silva (2017), as caldeiras são sistemas movimentados através de um fluido térmico como água, vapor, óleo térmico ou gás natural. O seu funcionamento ocorre mediante o calor da combustão, utilizado para aquecer serpentinas metálicas a altas temperaturas, nas quais circula o fluido aquecido. Na *Figura 7* tem-se duas ilustrações de caldeiras.



Fonte: Ecoforest, 2018. Disponível:  
<http://www.ecoforestpellets.com/catalogo-caldeiras-ecoforest-aquecimento-central/>



Fonte: Cimaahorro, 2018. Disponível:  
<http://www.cimaahorro.es/calderas/calderas-gasoi/domusa-gasoi/domusa-sirena-cal-hfd-30.html>

Figura 7- Exemplos de caldeiras

Os fluidos mais utilizados são água ou óleo térmico. A escolha do melhor fluido depende da temperatura de funcionamento, potência e pressão. Numa caldeira, o calor da combustão é utilizado para aquecer serpentinas metálicas e uma bomba hidráulica faz com que o fluido térmico passe por essas serpentinas promovendo o aquecimento (Silva, 2017).

Conforme uma publicação do Guia para Saúde Pública referente à qualidade do ar em Londres, 22% da emissão de NOx era proveniente de caldeiras a gás, contribuindo para a elevação das taxas deste poluente no ambiente (Greater London Authority, 2012).

Aliado ao elevado preço e à libertação de gases tóxicos no ar, as caldeiras a gás natural têm vindo a ser substituídas gradualmente por caldeiras a *pellets*. Esta rápida expansão do mercado de *pellets* tem-se devido, em parte, aos descontos e programas de incentivo criados para compensar o aumento do custo das caldeiras a *pellets*, face às caldeiras alimentadas por combustíveis fósseis (Barbosa, 2015).

Contudo, a combustão de *pellets* em caldeiras também pode ter impacto na qualidade do ar interior, originando uma grande quantidade de cinzas, ao contrário do que era observado nos combustíveis convencionais (Rabaçal, 2010).

Em estudo realizado por Fernandes & Costa (2011), relacionado com a utilização de caldeira alimentada a *pellets*, foi observado uma grande quantidade de emissão de material particulado PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>, corroborando os resultados obtidos por Madeira (2011), o qual menciona que as caldeiras domésticas emitem maioritariamente PM<sub>2,5</sub> (Madeira, 2011).

Rabaçal (2010) avaliou a influência do tipo de combustível na eficiência energética de caldeiras domésticas e obteve resultados distintos de acordo com o material de constituição dos *pellets*, sendo que aqueles produzidos a partir de madeira de pinho apresentaram menores taxas de emissões de monóxido de carbono (140 ppm), seguidas pelos *pellets* de caroço de pêssigo (200 ppm) e de resíduos lenhosos (950 ppm).

Por este motivo, é importante avaliar quais as fontes de combustão mais eficientes do ponto de vista energético como as caldeiras, mas também observar qual a taxa de poluentes emitidos nos espaços internos, a fim de preservar a qualidade do ar sem que estas situações comprometam a saúde humana.

### 2.3.2 Confeção de alimentos

No processo de confeção de alimentos são emitidos principalmente vapores ou fumos, que podem apresentar substâncias como COV, HAPs, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, CO<sub>2</sub> e CO (Quintela, 2009; Baptista, 2011). Estas emissões ocorrem devido à queima de gordura, emissão de vapor, e técnicas utilizadas durante o preparo dos alimentos (e.g fritar, assar, cozinhar e grelhar), combustível utilizado para a confeção, ventilação do ambiente, entre outras (Coelho, 2015).

A queima da gordura animal por exemplo liberta uma variedade de COV, sendo que uns apresentam propriedades mutagénicas e carcinogénicas (Quintela, 2009). Já durante a confeção de alimentos podem ser emitidos HAPs, que são considerados agentes carcinogénicos e tóxicos para a saúde (Yu-Pin *et al.*, 2015; Karimatu *et al.*, 2013; Gao *et al.*, 2015).

Durante o preparo dos alimentos, nas fases de aquecimento e cozedura, o material orgânico é volatilizado, podendo introduzir no ar componentes químicos como substâncias derivadas do carbono, além de gerar odores (alguns desagradáveis) que

comprometem a QAI (Kabir *et al*, 2011). De um modo geral, estes compostos derivados do carbono gerados, causam efeitos negativos na saúde, como irritação nos olhos, nariz, garganta, dores de cabeça e até doenças no fígado e rins, dependendo do tempo de exposição e da concentração desses poluentes (Infante, 2016).

Outros fatores de grande influência das emissões dos poluentes emitidos durante o processo de cocção estão relacionados com o tipo de equipamento utilizado na sua confeção e com o combustível utilizado. Em Portugal, os combustíveis mais utilizados na confeção de alimentos podem ser vistos na Figura 8.

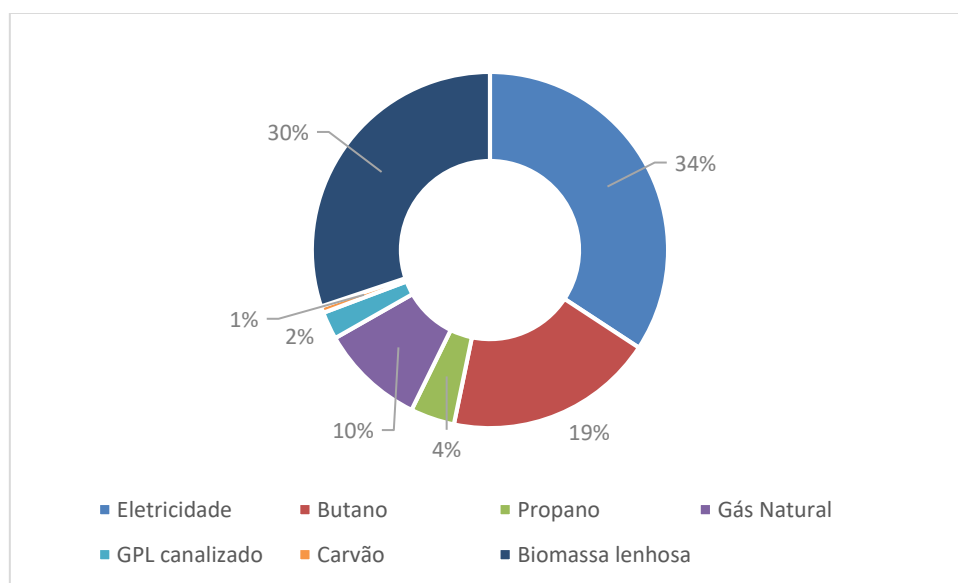


Figura 8- Distribuição do uso de energia na confeção de alimentos, em Portugal

Fonte: DGEG, 2011.

O combustível mais consumido em Portugal, na confeção de alimentos, é a eletricidade 34%, seguido pela biomassa lenhosa 30%, sendo a biomassa lenhosa responsável por emissão de material particulado e outros poluentes (e. g monóxido de carbono e COV ) que interferem na QAI e principalmente na saúde dos habitantes das residências (Kabir, 2011).

### 2.3.3 Limpeza e uso de ambientadores na habitação

Nas últimas décadas, os produtos de limpeza e ambientadores perfumados como sprays, velas, incensos e produtos de higiene (e.g desodorizantes e perfumes) têm vindo a integrar na sua composição substâncias químicas perigosas como COV que acabam por serem emitidos para as atmosferas interiores trazendo problemas de QAI, principalmente quando não há uma ventilação adequada do ambiente (Steinemann, 2009; Coelho, 2015).

Os ambientadores são utilizados com diferentes finalidades. As velas e incensos para fins espirituais, religiosos e terapêuticos, os desodorizantes e perfumes para higiene e os produtos de limpeza para deixar um ambiente limpo e um odor agradável (Coelho, 2015).

No entanto, para a queima de velas e incensos foram encontradas concentrações elevadas de material particulado PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> e COV, sendo que quando os mesmos se apagaram foi observado um decaimento nas concentrações desses poluentes. E ainda devido a combustão incompleta, pode ser libertado na atmosfera interior material orgânico como formaldeído, benzeno, estireno que são altamente poluentes (Petry et al, 2014; Afshari *et al.*, 2005).

Os produtos de perfumaria apresentam substâncias como aldeídos e lactona que são reativos (Manoukian *et al.*, 2013). Na limpeza das habitações, os indivíduos ficam expostos a contaminantes advindos dos produtos de limpeza, aspiradores e podem afetar a saúde severamente, uma vez que as substâncias que compõem esses produtos muitas vezes emitem COV e material particulado (Petry et al, 2014).

Nos produtos utilizadas na limpeza, pode haver substâncias como álcoois, cloretos, aldeídos e éteres que provocam a irritabilidade da pele (Wei *et al.*, 2015). Os aspiradores mesmo que com a utilização de sacos promovem a emissão de partículas que também são prejudiciais para o trato respiratório. Os métodos utilizados durante a limpeza também podem influenciar as concentrações desses poluentes (Wei *et al.*, 2015).

### 2.3.4 Materiais de construção e mobiliário

Os materiais de construção e o mobiliário são fontes de contaminantes atmosféricos, devido à presença de contaminantes utilizados nas suas composições, por exemplo formaldeído presente em madeira prensada, materiais mais antigos que possuem amianto, chumbo presente em tintas (Missia *et al.*, 2010).

Os materiais utilizados no revestimento e o mobiliário são fontes de COV e causam efeitos negativos como dores de cabeça, náuseas, sensação de fadiga, arritmias cardíacas, afectações do fígado, problemas no sistema respiratórios e irritação oftalmológica, quando as exposições a elevadas concentrações de alguns destes compostos são prolongadas. Entre os principais COV poluentes encontram-se o benzeno, formaldeído, acetaldeído, tolueno e xilenos (Abreu, 2010; Missia, 2010).

Em alguns casos, estes materiais podem apresentar um contributo até 40 % para a emissão global destes compostos, podendo ter um curto tempo no ambiente ou manifestando-se ao longo de um período suficientemente longo (Missia *et al.*, 2010).

Em resinas utilizadas na construção em forma de cola e protectores de tecido são encontrados poluentes como o formaldeído, sendo este altamente tóxico em contacto com o sistema respiratório, com a pele ou por ingestão por se tratar de um gás. A longo prazo, os efeitos são ainda mais severos, tais como hipersensibilidade, asma e para mulheres grávidas pode causar problemas ao feto (Abreu, 2010).

## 2.4 Outros fatores ambientais

### 2.4.1 Ventilação das habitações

De acordo com a ANSI/ASHRAE Standard (2007), a ventilação corresponde à fração do ar exterior que visa manter uma boa qualidade do ar em um ambiente interior, com o objetivo de controlar o nível de contaminantes e a humidade dentro do espaço. A ventilação pode ser natural, favorecida por efeitos térmicos, de ventos ou difusão de ar através de portas, janelas e outras aberturas presentes na habitação, mecânica assegurada por exaustores, sistemas AVAC e ventiladores, ou híbrida com a utilização da ventilação

natural e mecânica de forma complementar ( Rodrigues, 2013). Na Figura 9 tem-se os principais tipos de ventilação com suas vantagens e desvantagens.

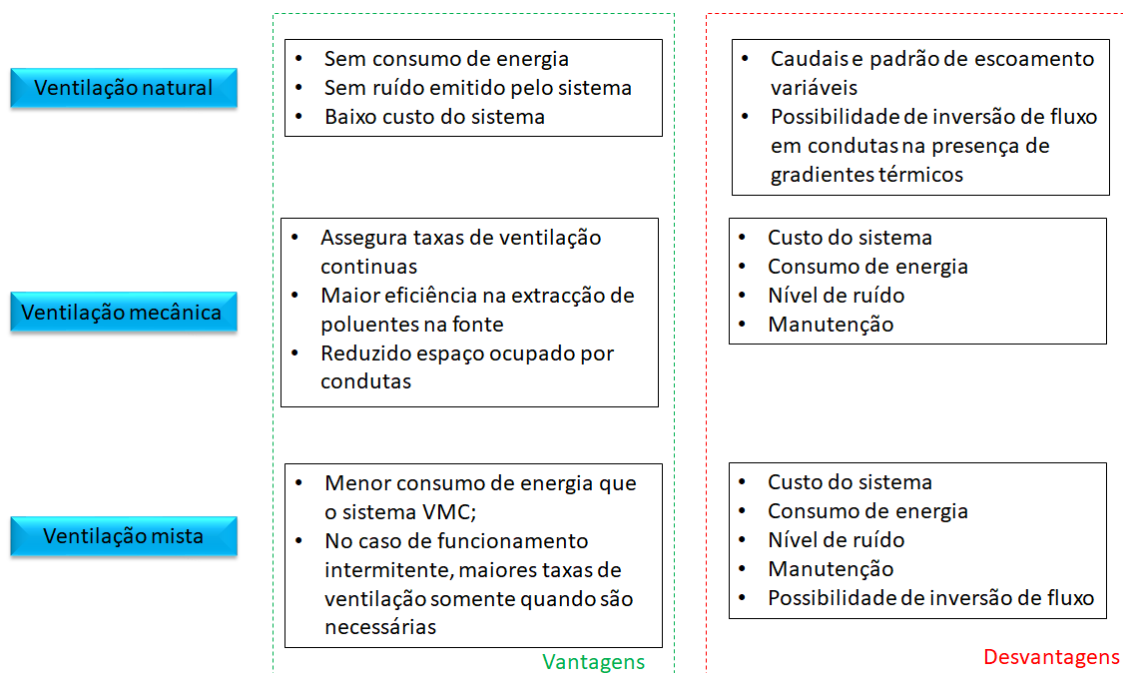


Figura 9- Tipos de ventilação e suas vantagens

A ventilação auxilia na diluição dos poluentes, quando há uma entrada de corrente de ar há um aumento no caudal do ar externo que entra no ambiente interno, melhorando a qualidade do ar, caso o ar externo não esteja com uma elevada concentração de poluentes. Locais com boa ventilação não estão livres da má qualidade do ar, uma vez que no ar exterior pode haver uma fonte poluidora que contamine o interior, se nestes locais não houver a presença de filtros como em sistemas AVAC (Prado, 1999; CCDR, 2014).

A ventilação adequada mantém um bom controle de poluentes, porém hoje é muito comum haver locais como prédios e até mesmo automóveis (e.g. autocarros) onde as janelas são projetadas para não serem abertas. Para que haja uma boa circulação do ar, é necessário que estes locais possuam sistemas de ventilação, que para manter a qualidade do ar interior devem passar sempre por limpezas e manutenções periódicas (Batista, 2008). Na Tabela 2 tem se as principais diretrizes para taxa de ventilação.

Tabela 2- Principais diretrizes para taxa de ventilação

País	Taxa de ventilação
EUA (ASHRAE 62.1:2004)	0,35 RPH e $> 27 \text{ m}^3/\text{h.p}$ VN: $A_{jan} > 4\% A_{pav}$
EUA (ASHRAE 62.1:2004, aplicável a moradias ou edifícios multifamiliares até 3 pisos)	0,05. $A_{pav} + 3,5 \cdot (n.^{\circ} \text{ quartos} + 1) + \text{infiltrações}$ $36 \text{ m}^3/\text{h}100 \text{ m}^2$ $A_{pav} A_{jan} > 4\% \cdot A_{pav}$ e $> 0,5 \text{ m}^2$
Europa (prEN 15251:2006)	0,6 RPH
Portugal (RCCTE-2006)	0,6 RPH

Legenda: cont.-Contínuo; int. – Intermitente;  $A_{pav}$  – Área pavimento;  $A_{jan}$  – Área janela; VN – Ventilação natural; VM – Ventilação mecânica; RPH-Renovações por hora

A exaustão perto de fontes poluidoras como fogões, lareiras tornam a ventilação mais efetiva. Porém manter exaustores ligados ininterruptamente pode ser inviável por uma questão energética e económica. Além disso, estudos realizados pela EPA indicam que o mais adequado seria ligar o exaustor antes da utilização da fonte poluidora (Prado, 1999).

Um estudo realizado em dormitórios na cidade de Pequim, constatou que  $0,036 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  seria uma taxa de ventilação adequada, para dormitórios com espaço *per capita* de 10 a  $12,5 \text{ m}^3$  para o inverno, caso haja mais habitantes no local recomenda-se que para manter a qualidade do ar a janela seja aberta uma vez que o espaço *per capita* diminui (Lei *et al.*, 2017).

Para avaliar a ventilação dos ambientes interiores é utilizada a taxa de renovação do ar, sendo usual recorrer à medição das concentrações de  $\text{CO}_2$  dos ambientes. Este gás é frequentemente proveniente do metabolismo humano e, como tal, é um ótimo indicador da viciação do ar por origem antrópica (Teixeira *et al*, 2012). A ASHRAE 62.1 (2010) preconiza que para assegurar um ar com qualidade e indicar bons níveis de ventilação o teor de  $\text{CO}_2$  não deverá ultrapassar níveis de 700 ppm.

Segundo a ASHRAE Standard 62-1989, para que os níveis de  $\text{CO}_2$  se mantenham uma taxa que assegure a boa qualidade do ar a taxa mínima de ventilação deve ser  $10 \text{ L/s}$

por pessoa. Para atividades normais, essa taxa de ventilação mínima de 10 L/s resultaria numa concentração de 850 ppm de dióxido de carbono em espaços ocupados (APA, 2009).

#### 2.4.2 Temperatura e Humidade

A temperatura é um elemento fundamental na análise da QAI, já que é um dos principais fatores que determinam o conforto térmico. Além disso, determinadas temperaturas associadas a determinados níveis de humidade colaboram para o crescimento de alguns microrganismos, o que é inconveniente para uma agradável qualidade do ar (Cabral, 2004).

Estudos indicam que altas temperaturas aumentam a emissão de formaldeído, e demonstram que a sua concentração no ar ambiente depende da humidade e da ventilação do espaço (Prado, 1999).

A humidade afeta também, de forma indireta ou direta, os habitantes das residências. Os valores adequados para humidade relativa estão entre 30 a 70 %. Valores baixos de humidade relativa podem provocar irritação na pele, em mucosas e infecção de vias respiratórias. Os elevados valores de humidade relativa também causam desconforto, originam a proliferação de microrganismos e incómodos respiratórios (Abreu, 2010).

Considera-se uma humidade relativa inferior a 25% desconfortável, uma vez que estes valores são considerados prejudiciais à saúde por secar as mucosas e a pele, o que gera uma irritação nessas áreas. Já valores elevados de humidade relativa podem desencadear na condensação de superfícies interiores e exteriores o que pode ser um fator de impulso para o crescimento de fungos (APA, 2009).

Estudos realizados em 557 residências em Portugal, identificaram que 1,3% da amostra apresentaram valores de humidade relativa inferiores a 30%, e 2,6% apresentaram valores superiores a 70%. Foi avaliado de forma conjunta o conforto térmico levando em consideração temperatura e humidade relativa e concluiu-se que 47% das habitações avaliadas apresentaram pelo menos uma medição fora dos valores considerados adequados (Ginja *et al*, 2012). Na Figura 10 pode ser observado um diagrama de conforto térmico, conforme a temperatura e a humidade.

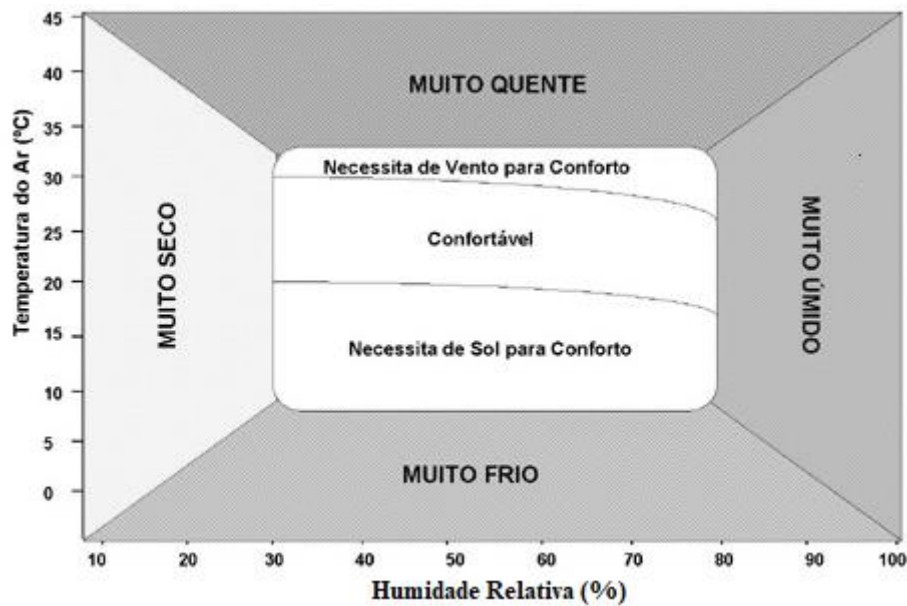


Figura 10- Diagrama conforto térmico

Fonte: Adaptado INMET (2017)

## 2.5 Enquadramento legal

Na década 90 surgiram os primeiros diplomas legais sobre QAI. Na Europa a primeira Diretiva 93/76/CEE fazia referências à limitação do dióxido de carbono e à eficiência energética. Em 2002, a eficiência energética dos edifícios novos e existentes ganha novo impulso com a Diretiva 2002/91/CE, que definiu metodologias de cálculo de desempenho energético e estabeleceu a necessidade de implementação de um sistema de certificação energética de edifícios, pelos Estados Membros.

A Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios foi transposta parcialmente para a ordem jurídica nacional através do Decreto-Lei 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Na sequência deste decreto surgiram ainda os D.L. 79/2006, de 4 de abril, 80/2006 de 4 de abril e a Portaria 461/2007, de 5 de junho. O Decreto 79/2006 aprovou o regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios de forma a fixar limites à potência dos sistemas, para que não houvesse a sobrecarga dos mesmos, e ainda

da QAI em Edifícios (RSECE) referentes a conforto térmico e parâmetros para poluentes presentes nas atmosferas interiores. Já o Decreto 80/2006 explanava os parâmetros relativos ao comportamento térmico dos edifícios, sendo fixadas condições de cálculos para o consumo energético, em termos de temperatura e de renovação do ar. Posteriormente foi publicada a Portaria 461/2007 que definiu a calendarização da aplicação do Sistema de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior proposta pelas diretivas anteriores.

Mais tarde, com a publicação da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi reformulado o regime estabelecido pela Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002. Esta nova Diretiva veio clarificar alguns dos princípios do texto inicial e introduzir novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020.

A transposição para o direito nacional da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, através da aprovação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, gerou a oportunidade de melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respectivos regulamentos, bem como de alinhar os requisitos nacionais às imposições explicitamente decorrentes da mesma. Assim, o presente diploma assegurou não só a transposição da diretiva referida, mas também uma revisão da legislação nacional, que se substanciou em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), atendendo, simultaneamente, aos interesses inerentes à aplicabilidade integral e utilidade deste quadro legislativo, e aos interesses de simplificação e clareza na produção legislativa de caráter predominantemente técnico.

Na sequência do decreto-lei anterior, surgiram novos diplomas referentes aos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de

avaliação, em particular a Portaria 353-A/2013, de 4 de dezembro, na qual foram estabelecidos os limiares de proteção para os principais poluentes encontrados nas atmosferas interiores. Na Figura 11 sumaria-se o quadro legal referente a QAI.

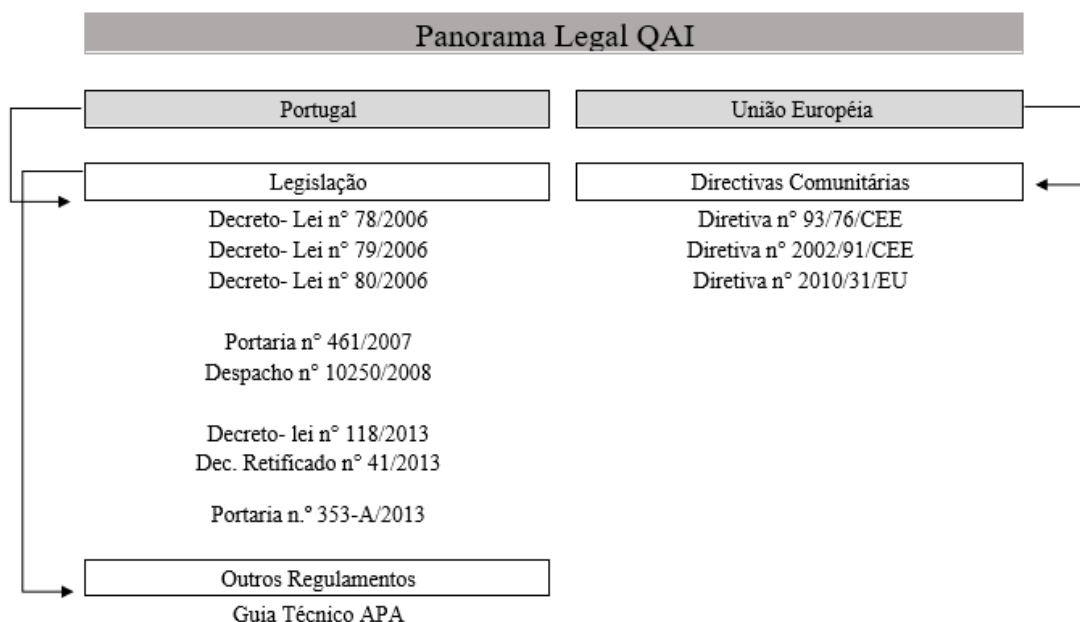


Figura 11- Panorama legal QAI

Fonte: Adaptado Rodrigues,2013.

A legislação que vigora em Portugal, sob a forma do Decreto-Lei nº118/2013 e Portaria 353-A/2013, estabelece os limites para emissão de poluentes em ambientes fechados com limiares de proteção para uma média de 8 horas de exposição, sendo as margens de segurança previstas para edifícios existentes e novos sem sistema mecânico de ventilação (Tabela 3).

No âmbito internacional, Coentro (2015) menciona a inexistência de uma legislação específica que reúna informações sobre a qualidade do ar em interiores, porém, organizações como a Occupational Safety and Health Administration (OSHA), a National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), a Industrial Hygiene, Environmental, a Occupational Health e a Health Canada, publicaram diretrizes com parâmetros a respeito de alguns poluentes.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) também elaborou relatórios e pareceres que fornecem uma avaliação dos efeitos destes poluentes na saúde humana estabelecendo os limites para os níveis de poluentes. Os parâmetros nacionais e aqueles estabelecidos por entidades internacionais podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3- Limiares de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos.

<b>Poluente</b>	<b>Limiar de proteção Portugal (8h)</b>	<b>Tolerância em Portugal (%)</b>	<b>Limites Internacionais</b>	<b>Órgão competente</b>
CO <sub>2</sub>	2250 mg/m <sup>3</sup> 1250 ppmv	30	1800 mg/m <sup>3</sup>	ASHRAE 62.2-2013
CO	10 mg/m <sup>3</sup> 9 ppmv	-----	10 mg/m <sup>3</sup> (8 h) 7 mg/m <sup>3</sup> (24 h)	WHO (2010)
CH <sub>2</sub> O	100 µg/m <sup>3</sup>	-----	0,1 mg/m <sup>3</sup> (30 min)	WHO (2010)
COV	600 µg/m <sup>3</sup>	100	0,3 mg/m <sup>3</sup>	UE
PM <sub>10</sub>	50 µg/m <sup>3</sup>	100	20 µg/m <sup>3</sup> (ano) 50 µg/m <sup>3</sup> (24 h)	WHO (2006)
PM <sub>2,5</sub>	25 µg/m <sup>3</sup>	100	10 µg/m <sup>3</sup> (ano) 25 µg/m <sup>3</sup> (24 h)	WHO (2006)

Fonte: Adaptado Rodrigues, 2013 e Coentro, 2015.

Importa referir que as concentrações em µg/m<sup>3</sup> e em mg/m<sup>3</sup> se referem à temperatura de 20° C e à pressão de 1 atm (101,325 kPa) e que os limiares de proteção indicados dizem respeito a uma média de 8 horas. Além disso, para os parâmetros CO e COV totais, se as concentrações medidas forem superiores aos limiares de proteção constantes da Tabela 3, a verificação da conformidade envolve critérios específicos apresentados na portaria.

Embora não tenha sido objeto de estudo desta dissertação, as condições de referência para contaminantes biológicos encontram-se descritas na Tabela 4.

Tabela 4- Condições de referência para contaminantes microbiológicos

	Matriz	Unidade	Condições de referência
Bactérias <i>Legionella</i> <i>spp</i>	Ar	[UFC/m <sup>3</sup> ]	Concentração de bactérias totais inferior à concentração no exterior, acrescida de 350 UFC/m <sup>3</sup> .
	Água	[UFC/L]	Concentração inferior a 100 UFC/L exceto no caso de tanques de torres arrefecimento que a concentração deve ser inferior a 1000 UFC/L Ausência de <i>Legionella pneumophila</i>
Fungos	Ar	[UFC/m <sup>3</sup> ]	Concentração de fungos no interior é maior que a detectada no exterior

Fonte: Adaptado Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro

Os valores de referência para os poluentes biológicos no ar interior, estão relacionados com os valores medidos no exterior.

Como também já foi referido a qualidade do ar interior está relacionada com a as taxas de renovação de ar novo, pelo que a Portaria 353-A de 2013, estabelece esse valor num caudal mínimo de 24 m<sup>3</sup>/h/pessoa.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição Geral da Metodologia

O estudo de QAI foi realizado em habitações da cidade de Bragança, localizada na região Norte de Portugal, e envolveu várias etapas como ilustrado na *Figura 12* :

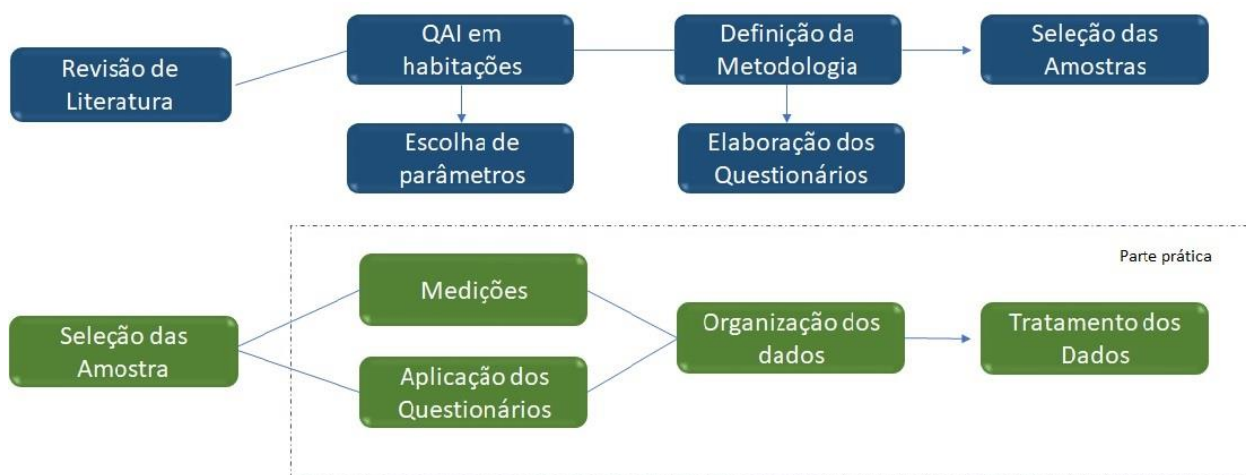


Figura 12- Esquema metodológico geral adotado no presente estudo.

Após uma fase inicial de revisão da literatura com vista a compreender melhor a problemática da QAI e a definir uma metodologia capaz de atender os objetivos estudo, elaborou-se um questionário para ajudar na caracterização das habitações e dos hábitos/estilos de vida quotidianos.

Em seguida, procedeu-se à seleção da amostra de habitações, a partir dos sistemas de aquecimento utilizados em cada habitação e dos seus respectivos combustíveis. Depois seguiu-se a execução das campanhas de medição e a aplicação do questionário. Por fim, efetuou-se a organização e o tratamento dos dados obtidos nas campanhas de medição e nos inquéritos.

### 3.2 Descrição da Área de Estudo

O estudo de QAI foi realizado em habitações da cidade de Bragança, localizada na região Norte de Portugal (Figura 13).



Figura 13- Área de estudo

Fonte: Adaptado Ferreira,2012; Google Earth, 2018.

A região de Bragança teve seu início nos séculos X e XI, tendo uma posição estratégica quando relacionada ao seu surgimento já que se encontra próxima à fronteira Portugal/Espanha. Atualmente é composta por 49 freguesias, sendo a Capital do distrito.

Apresenta uma população residente de aproximadamente 22.000 habitantes (INE, 2012). Por estar entre cotas de 580 a 860 m, apresenta terrenos acidentados com variações de altitude, que tem como resultado efeitos sobre o relevo, regime hidrológico e o clima (Gonçalves, 2014).

Com o clima temperado, apresenta influências atlânticas e continentais, com amplitudes térmicas, sendo os períodos de invernos rigorosos, longos e húmidos. A cidade de Bragança é conhecida como uma das regiões mais frias de Portugal (Jacob, 1997). Os verões são curtos e apresentam temperaturas elevadas. As suas influências atlânticas são advindas da sua altitude e da sua distância à costa. Já os traços continentais

são característicos da Terra Fria Transmontana. Na Figura 14 encontram-se dados climáticos referente a setembro de 2017 e agosto de 2018 em Bragança.

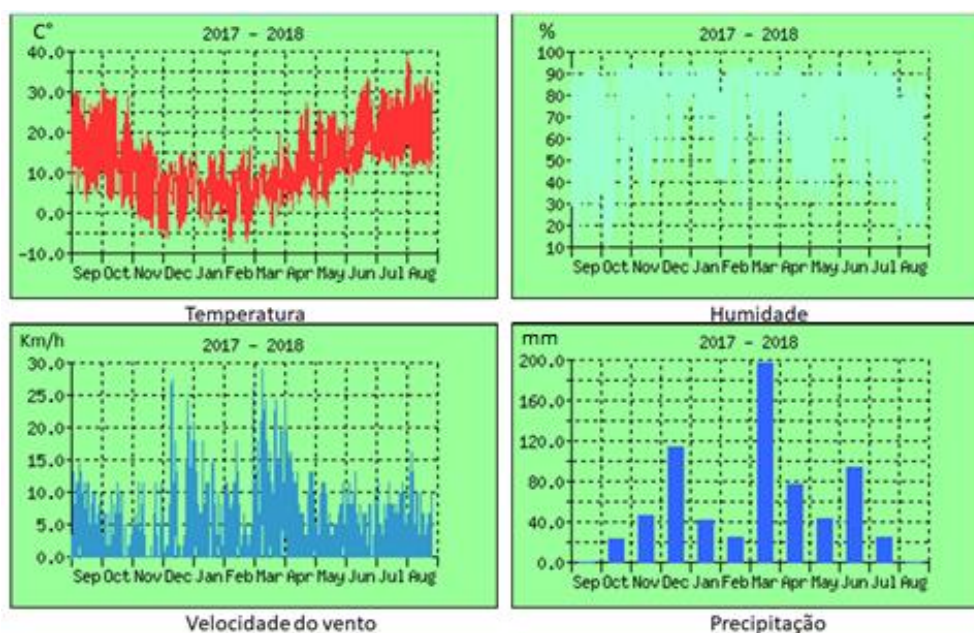


Figura 14- Dados meteorológicos de setembro de 2017/ agosto 2018

Fonte: Adaptado ESA- IPB,2018

Devido às baixas temperaturas prevalentes, em particular no inverno, 99,6 % da população utiliza sistemas de aquecimento, sendo a biomassa lenhosa a principal fonte utilizada, seguida por eletricidade (e.g aquecedores, radiadores a óleo), gás natural e gasóleo através de aquecimento central (Ferreira,2012).

### 3.3 Seleção e Caracterização da Amostra

Para a escolha das habitações foram enviados e-mails, com uma breve apresentação do estudo, a solicitar colaboradores voluntários. Os interessados tinham que preencher um pequeno formulário com dados pessoais, local e tipo de residência, tipo de sistema e combustível utilizado no aquecimento da habitação.

Após esta etapa, foram selecionadas 25 habitações. O principal critério de seleção foi a tipologia do sistema de aquecimento e combustível utilizado Figura 15, não tendo

vido, todavia, possível conseguir a amostra ideal. A desistência de alguns voluntários e a necessidade de incluir outras tipologias de sistemas levou a que se adotasse outros métodos para constituir a amostra de estudo, como por exemplo envolvendo contactos pessoais.



Figura 15- Sistemas de aquecimento de algumas das habitações da amostra de estudo.

As medições de parâmetros físicos e químicos de QAI foram realizadas nas várias habitações da amostra, as quais apresentavam características distintas, como a tipologia da habitação, a área, o número de ocupantes, ano de construção, entre outras (Tabela 5).

As residências analisadas apresentavam uma área entre 90 a 400 m<sup>2</sup>, sendo 12 apartamentos e 13 moradias, localizadas em diferentes áreas de Bragança (Tabela 5). O ano de construção das residências foi por volta de 2000, sendo uma residência construída no princípio do século 20 localizada na zona histórica.

O número de ocupantes variou entre 1 a 5 ocupantes. Das 25 habitações apenas em 7 havia fumadores regulares. Dez habitações tinham caldeira como sistema de aquecimento, sendo 4 a gás natural, uma a gasóleo e as outras 5 a pellets. Das habitações que utilizam lareiras, aberta e fechadas como sistema de aquecimento todas eram

alimentadas a lenha. As que dispunham de salamandras utilizavam pellets como combustível.

Tabela 5- Características gerais das habitações

Habitação	Tipo de habitação	Sistema de Aquecimento	Combustível	Área	Ocupantes	Fumadores	Ano de construção
1	Apartamento	Lareira fechada /Caldeira	Lenha/Gás natural	180	3	Não	2002
2	Apartamento	Salamandra	Pellets	120	4	Sim	2000/2016*
3	Moradia	Salamandra	Pellets	400	2	Não	2007
4	Moradia	Lareira fechada	Lenha	360	5	Sim	2005
5	Apartamento	Caldeira	Pellets	***	4	Não	2008
6	Moradia	Caldeira	Pellets	220	3	Não	2000
7	Apartamento	Lareira fechada	Lenha	135	4	Não	2002
8	Moradia	Lareira fechada / Caldeira	Lenha/Pellets	300	4	Não	2009
9	Apartamento	Lareira fechada	Lenha	110	3	Não	2000
10	Moradia	Caldeira	Pellets	190	2	Não	1982
11	Moradia	**	**	100	4	Não	1986/2014*
12	Apartamento	Caldeira	Gás natural	130	3	Sim	2003
13	Apartamento	Lareira fechada	Lenha	170	3	Não	2004
14	Apartamento	Caldeira	Pellets	110	4	Não	2001
15	Moradia	**	**	100	1	Não	1986/2014*
16	Apartamento	Caldeira	Gás natural	122,3	3	Não	2002
17	Apartamento	Caldeira	Gás natural	90	1	Não	2005
18	Apartamento	Lareira fechada	Lenha	***	2	Sim	1992/2010*
19	Moradia	Lareira	Lenha	120	2	Não	2008
20	Moradia	Caldeira	Gás óleo	360	2	Sim	1998/2017
21	Moradia	Lareira	Lenha	***	2	Sim	2004
22	Moradia	Lareira fechada	Lenha	***	2	Não	1979
23	Moradia	Caldeira	Pellets	300	3	Sim	1981
24	Apartamento	Caldeira	Gás natural	140	2	Não	2010
25	Moradia	Lareira	Lenha	280	4	Não	1967/1997

\*Ano de remodelação do imóvel \*\*Sem sistema de aquecimento \*\*\*Sem informação

### 3.4 Questionários

Com o objetivo de obter informações sobre as habitações (e.g. tipologia, área, isolamento), aos hábitos e costumes dos habitantes, em particular no que respeita às atividades quotidianas com influência na QAI, à percepção dos residentes relativamente a qualidade interior e a conforto térmico, elaborou-se um questionário para aplicar aos habitantes das residências estudadas.

O questionário, apresentado no Anexo I fora dividido em sete secções:

- I. Dados Pessoais do Inquirido
- II. Caracterização da Habitação
- III. Sistema de Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado
- IV. Limpeza da Habitação, Cocção de alimentos e outros
- V. Informação Complementar
- VI. Condições Durante o Período de Medição
- VII. Comentários/Observações Adicionais

Os questionários eram entregues no início da medição e recolhidos ao final, sempre que possível. A sua divisão em secções foi pensada de forma a facilitar para os inquiridos.

A secção I tratava de dados como idade, escolaridade de forma a traçar um perfil dos indivíduos. Na secção II consistia em questões referentes às habitações como ano de construção, tipo de vidros utilizados e quantidade de janelas. Já a secção III trazia questionamentos referentes aos sistemas de aquecimento utilizados, ao custo e ao tipo de combustível e a frequência em que o sistema era utilizado. Na secção IV, as questões incidiram sobre a limpeza da habitação (e.g. produtos utilizados, frequência) e a confeção de alimentos. Na secção V eram pedidas informações referentes a percepção da QAI pelos inquiridos e se havia fumadores na habitação. A secção VI era dedicada à caracterização de uma série de condições prevalentes durante o período de medição. Por fim, na secção VII, oferecia a possibilidade de os inquiridos poderem expressar informações/sugestões adicionais.

### 3.5 Instrumentação e Procedimento de Medição

#### 3.5.1 Instrumentação

Para as medições das concentrações de material particulado  $PM_{2,5}$  foi utilizado o instrumento ADR-1200S do fabricante Thermo Scientific® (Figura 16a)). O aparelho realiza a medição de partículas através do princípio light-scattering, operando numa gama de 0 a  $1000 \text{ mg.m}^{-3}$ .

O aparelho era montado em um tripé, ficando a toma de ar a cerca de 1,5 metros de altura. No início de cada medição procedeu-se à calibração do equipamento relativamente ao zero, utilizando-se um filtro de partículas capaz de gerar um ar isento deste contaminante particulado. Após a calibração inicial, procedia-se à acoplagem da cabeça de amostragem  $PM_{2,5}$  e a medição era iniciada.



610 Figura 16- Equipamento utilizado na avaliação de parâmetros de QAI. a) ADR-1200S Thermo Scientific b) IAQ

Fonte: Equipco, 2018; Aimtech, 2018

Com o equipamento IAQ 610 (Figura 16-b) da Graywolf Sensing Solutions foram medidas as concentrações de COV, CO e CO<sub>2</sub>, temperatura e humidade relativa. O sensor IAQ 610 era posicionado próximo do ADR-1200S durante as medições. Os princípios de operação e as gamas de medição de cada um dos sensores encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6- Informações sobre a gama de medição dos poluentes, temperatura e humidade

	Princípio de medição	Gama	Precisão
COV	Fotoionização (PID)	5 a 20.000 ppb	5 ppb
CO <sub>2</sub>	Sensor de infravermelho não dispersivo (NDIR)	0 a 10.000 ppm	± 3%
CO	Eletroquímico	0 a 500ppm	±2ppm
Temperatura	Termo resistência Pt100	25° a 70°C	± 0,3°C
Humidade	Capacitivo	0 a 100 %	± 2% HR

### 3.5.2 Procedimento de Medição

Nesta etapa foi efetuada a medição de alguns parâmetros de QAI relevantes para o conforto e o bem-estar dos ocupantes das habitações, tais como parâmetros físicos (T e HR) e químicos (CO, CO<sub>2</sub>, COV totais e PM<sub>2,5</sub>) recorrendo ao equipamento de leitura direta descrito anteriormente.

As medições foram realizadas no compartimento da habitação onde se encontrava instalado o sistema de aquecimento, quando existente. Usualmente, foram realizadas na sala de estar. Nos casos em que os sistemas se encontravam em áreas de serviço e garagens, além da medição nesses espaços, também se realizaram na sala de estar.

Durante as medições, os residentes desenvolveram as suas atividades do quotidiano normalmente, ou seja, não foram impostas quaisquer regras comportamentais ou de utilização de fontes de poluição durante o período de medição.

As campanhas de medição decorreram entre janeiro e março de 2018, tendo sido realizado um total de 25 ensaios. É importante ainda ressaltar que todas as medições foram realizadas com as portas e janelas fechadas.

As medições foram realizadas no interior de cada habitação por um período superior a 20 horas e no exterior por um período de 30 a 45 minutos. As medições exteriores foram realizadas por um curto período uma vez que o sensor IAQ 610 não

apresentava um bom desempenho por períodos mais longos, por estar exposto a muitas baixas temperaturas.

### 3.6 Processamento de Dados

#### 3.6.1 Avaliação das características de isolamento das habitações

O isolamento das habitações foi avaliado a partir da taxa de infiltração calculada para cada uma das 25 habitações. Para esse cálculo, foi selecionado um período com um decaimento linear dos níveis de CO<sub>2</sub>, usualmente registado durante o período noturno após os ocupantes abandonarem o espaço das medições e se deslocarem para os seus quartos. Para cada um desses períodos foi identificada a concentração de dióxido de carbono inicial (Co) e a concentração final (Cf), bem como o tempo decorrido entre o início e o fim do período (Weichenthal, *et al* 2007).

Para uma melhor visualização do momento de decaimento do CO<sub>2</sub> as concentrações obtidas durante o período do experimento foram representadas graficamente conforme Figura 17 e assim discriminados Co e Cf.

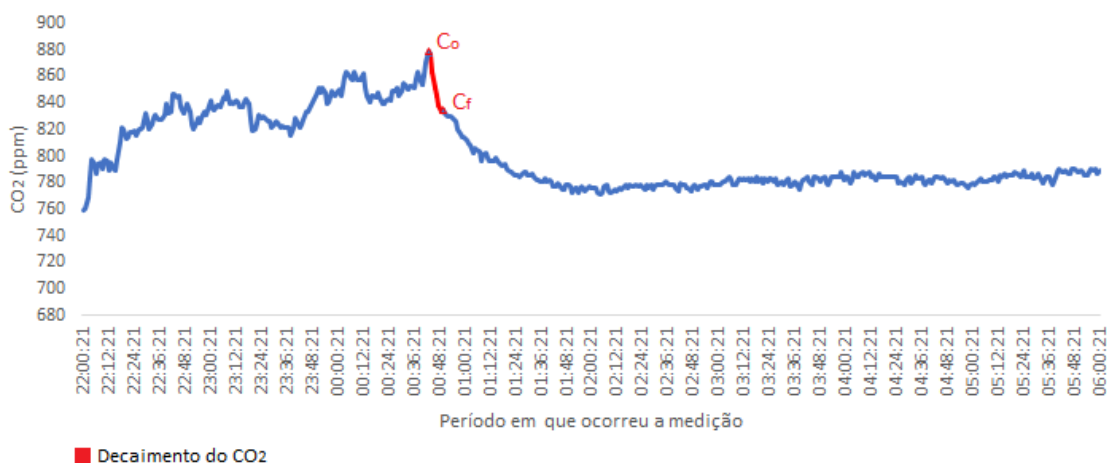


Figura 17- Período de decaimento das concentrações de CO<sub>2</sub> usado no processo de estimativa da taxa de infiltração de ar para habitação onde os níveis foram registados.

Os valores encontrados para Co e Cf a fim de obter a taxa de ventilação foram substituídos na equação 1.

$$\text{Taxa de infiltração} = \frac{\ln(C_o) - \ln(C_f)}{T_o - T_f} \quad \text{Equação 1}$$

Considerando  $T_o$  como o tempo inicial e  $T_f$  como o tempo final, em que as concentrações iniciais e finais foram determinadas. Sendo estes valores determinados durante o período noturno, durante o qual as aberturas como janelas e portas exteriores eram mantidas fechadas. As concentrações exteriores de  $\text{CO}_2$  obtidas em cada uma das habitações foram subtraídas à concentração inicial e final para uma correção de fundo.

### 3.6.2 Tratamento Estatístico e Representação Gráfica dos Dados

Os dados e informações obtidos nos diferentes ensaios foram organizados em folhas de cálculo do software Excel 2010 da Microsoft®, tendo sido elaborada uma folha de cálculo por habitação onde foi inserida informações de cada dia de amostragem, relativo à evolução temporal das concentrações dos parâmetros físicos e químicos no interior e exterior. Em seguida, a informação foi agrupada por sistema de aquecimento e posteriormente por tipo de combustível obtendo-se os seguintes grupos de habitações (Figura 18):

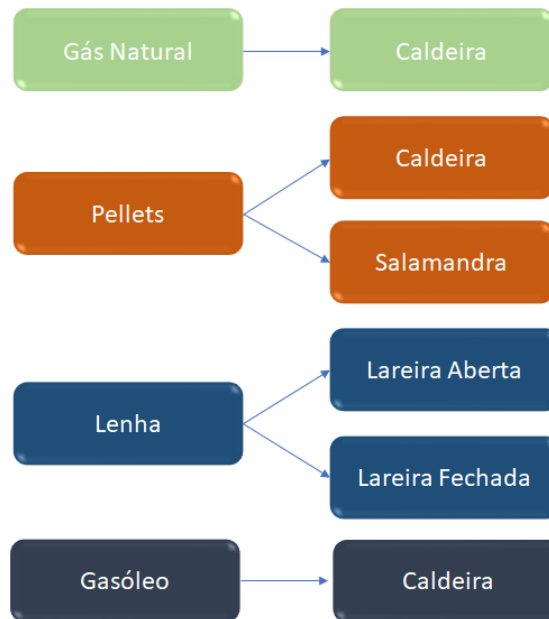


Figura 18- Ilustração da forma como as habitações foram agrupadas por sistema de aquecimento e combustível utilizado.

Numa etapa subsequente, procedeu-se ao cálculo das médias horárias e à elaboração de gráficos com a evolução temporal das concentrações médias horárias dos vários parâmetros de QAI, como exemplifica a Figura 19.

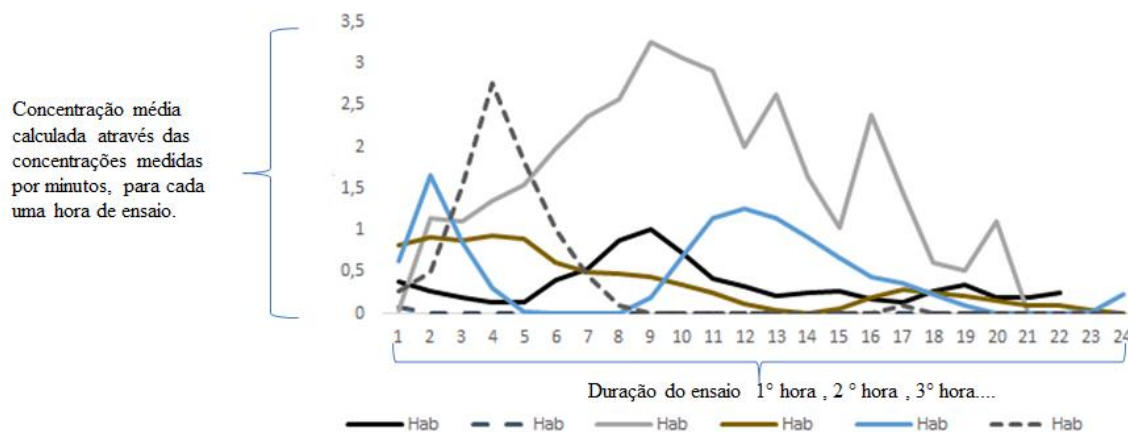


Figura 19- Apresentação gráfica relativa à evolução temporal dos valores médios horários dos parâmetros de QAI adotada neste estudo.

Além disso, ainda se construiu uma série de gráficos do tipo boxplot com recurso ao software R® (Figura 20). Nestes últimos gráficos, apresenta-se um conjunto alargado de parâmetros estatísticos como a mediana, pontos discrepantes, máximos e mínimos,

eles foram elaborados com as concentrações medidas e integradas de minuto a minuto durante o funcionamento dos respectivos sistemas.

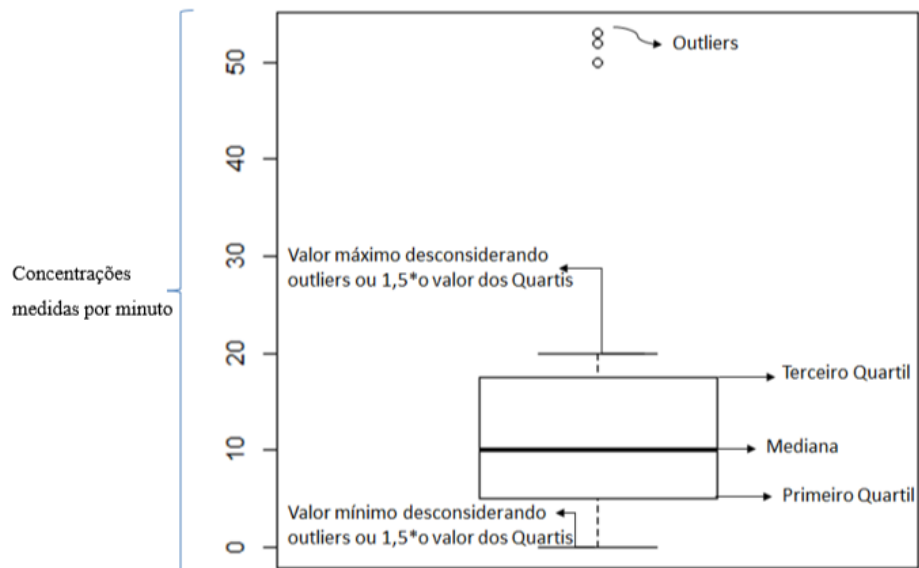


Figura 20-Ilustração geral de um Boxplot com a representação interquartil e valores extremos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao logo deste capítulo serão apresentados os principais resultados obtidos através dos inquéritos aplicados, bem como das medições realizadas nas diferentes habitações, acompanhados da respectiva discussão com base na literatura.

### 4.1 Análise de Informação dos Questionários

Esta secção apresenta os resultados dos questionários aplicados em cada uma das habitações.

#### 4.1.1 Ocupação e Período de Permanência dos Habitantes

A análise dos questionários respondidos pelos habitantes permitiu constatar o número de ocupantes de cada uma das habitações estudadas como pode ser visto na Figura 21.

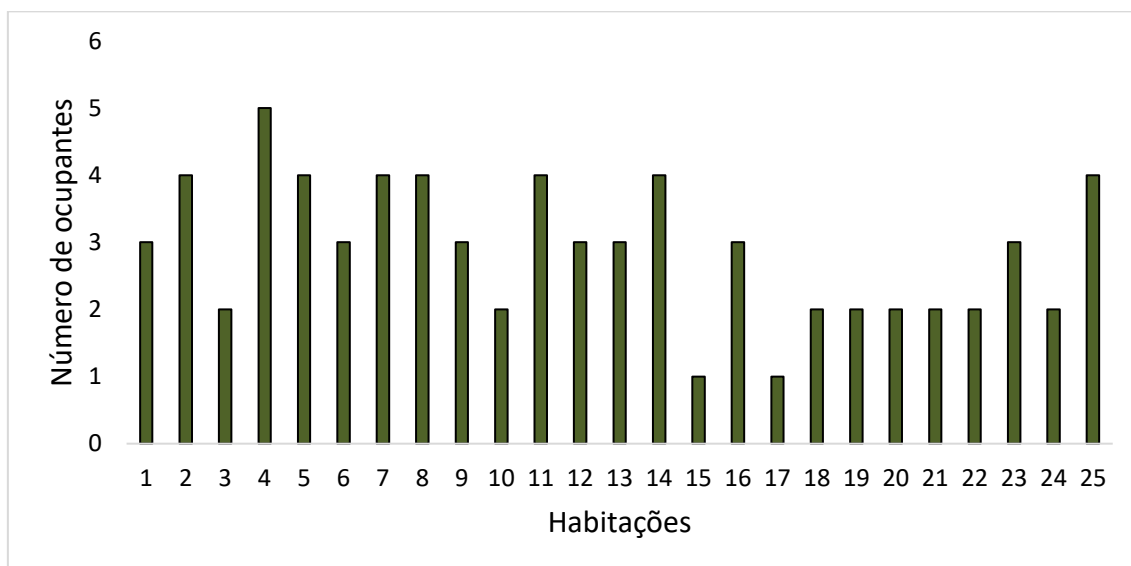


Figura 21- Número de ocupantes por habitação

Das habitações estudadas, 32% eram habitadas por dois ocupantes, e 28% por três e quatro, sendo que o período médio de permanência dos mesmos nas suas habitações variou entre 8 e 16 horas, como se pode observar na Figura 22.

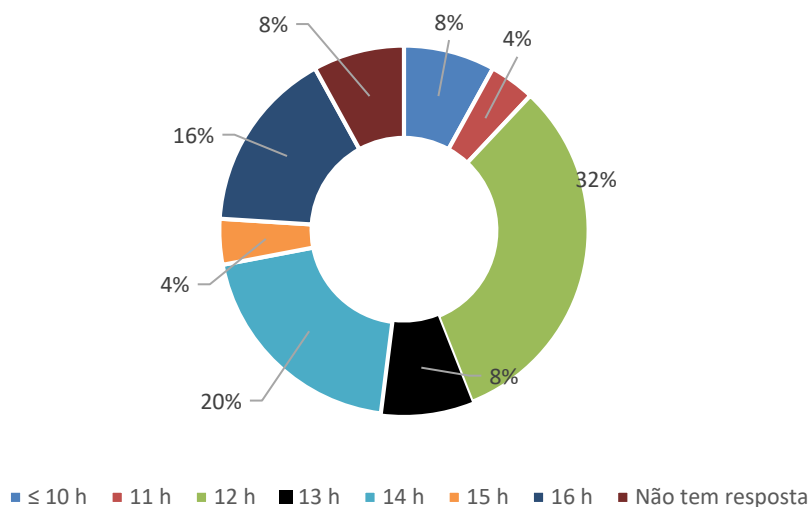


Figura 22-Período médio de permanência dos indivíduos em suas habitações.

Em termos gerais, em mais de 50% das habitações estudadas os ocupantes permanecem em média um tempo igual ou superior a 12 horas/dia. Apenas em 8% o tempo de permanência é inferior a 10 horas/dia.

#### 4.1.2 Principais Atividades Desenvolvidas na Habitação com Influência na QAI

Em relação às principais atividades desenvolvidas nas habitações com influência direta na QAI como a limpeza da habitação (e.g. varrer, espanar, aspirar, utilizar produtos de limpeza), utilização de ambientadores (e.g. sprays, incenso, velas) e a confeção de alimentos, a Figura 23 mostra as práticas mais utilizadas e a frequência com que são ou eram realizadas.

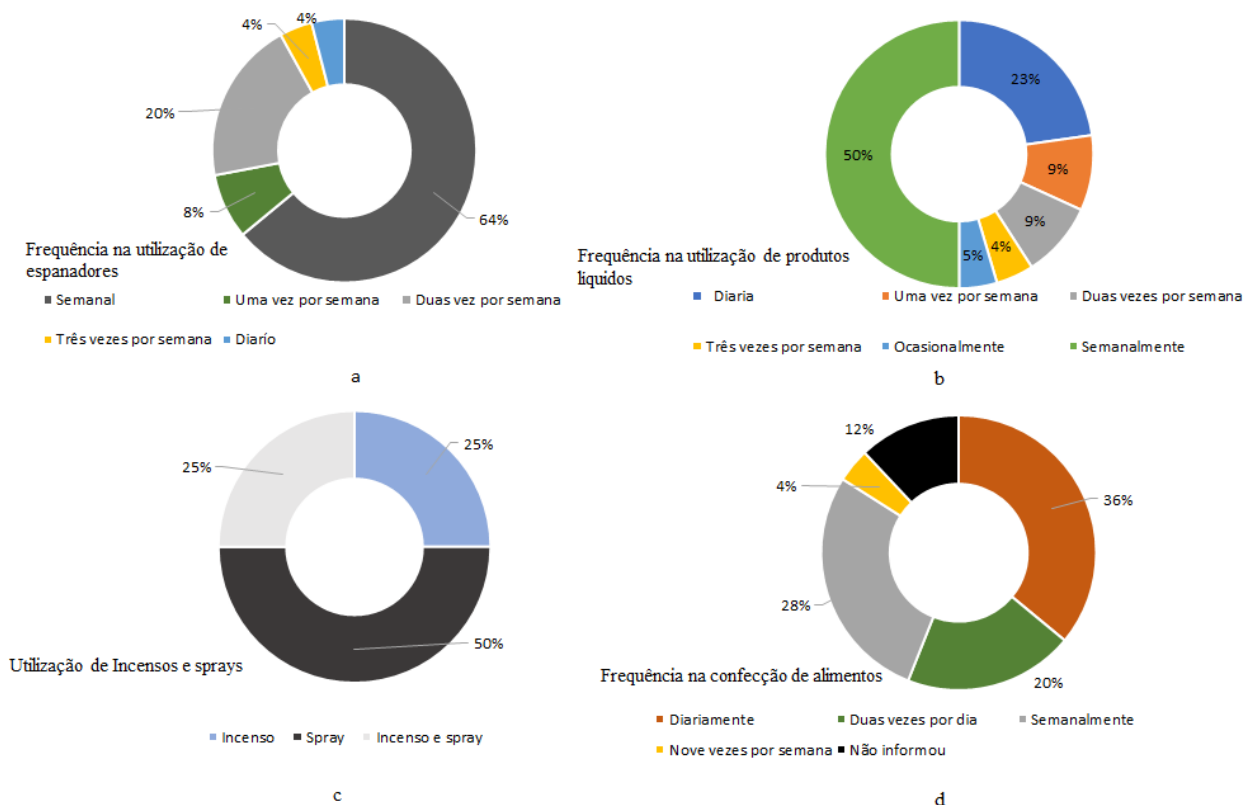


Figura 23-a) Utilização de espanadores e varredura; b) Utilização de produtos de limpeza; c) Utilização de têxteis, sprays, velas e incensos) Frequência na Cocção de alimentos

A Figura 23-a expressa a frequência com que as residências eram espanadas e varridas. Em 64% das habitações essas atividades ocorriam em média uma vez por semana e em 20% duas vezes por semana.

A utilização de produtos de limpeza (Figura 23-b) é transversal a todas as habitações, embora com frequências distintas de utilização. Aproximadamente 50% fazem o uso de produtos de limpeza com uma frequência semanal e 23% das habitações fazem-no diariamente.

Pode ver-se igualmente na Figura 23-c que o uso de sprays, velas, incensos foi identificado como práticas usuais em todas as habitações, sendo que em 50% delas ocorria a utilização de sprays e 25% faziam o uso de velas.

De um modo geral, também se constatou que a confeção de alimentos é uma prática comum em todas as habitações (Figura 23-d), sendo que em 36% das habitações cozinha-se diariamente, em 28% semanalmente e em 20% duas vezes por semana.

As práticas relacionadas com a limpeza das residências como a varrição e o espanamento foram relacionadas em outros estudos como atividades que elevam a concentração de partículas PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> (Batista, 2008), sendo esses hábitos realizados em todas as habitações analisadas.

A utilização de produtos de limpeza em quantidades exageradas pode prejudicar a saúde dos residentes, uma vez que alguns compostos considerados tóxicos fazem parte da composição desses produtos, mesmo não estando especificados nos rótulos, causando mal-estar aos ocupantes desses espaços como náuseas e cefaleias, quando utilizados com muita frequência (Petry et al, 2014; Wei. *et al*,2015).

#### 4.1.3 Sistemas de Aquecimento Utilizados e Grau de Satisfação dos Habitantes com os Mesmos

Relativamente aos sistemas de aquecimentos utilizados nas habitações e aos seus principais combustíveis apresentam-se na Figura 24 (a e b) a distribuição relativa dos mesmos na amostra de estudo.

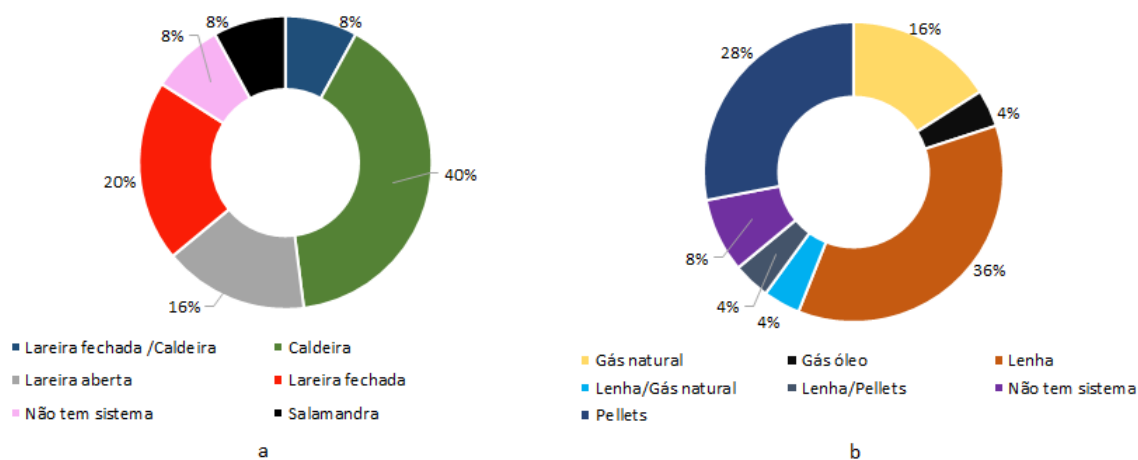


Figura 24- a) Principais sistemas de aquecimentos utilizados em Bragança b) Principais combustíveis utilizados

No que concerne aos sistemas de aquecimento mais utilizados e às suas principais fontes de energia constatámos que das habitações estudadas 40% utilizam caldeira, 20% lareira fechada e 16% lareira aberta. Destes 36% utilizam a lenha como combustível principal para o aquecimento e 28% pellets.

Analisou-se ainda a satisfação dos moradores com os seus sistemas de aquecimento referente à sua eficiência, ou seja, se estavam contentes com a escolha e o funcionamento do equipamento e ainda se investiriam nouro tipo de sistema. Os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 25 .

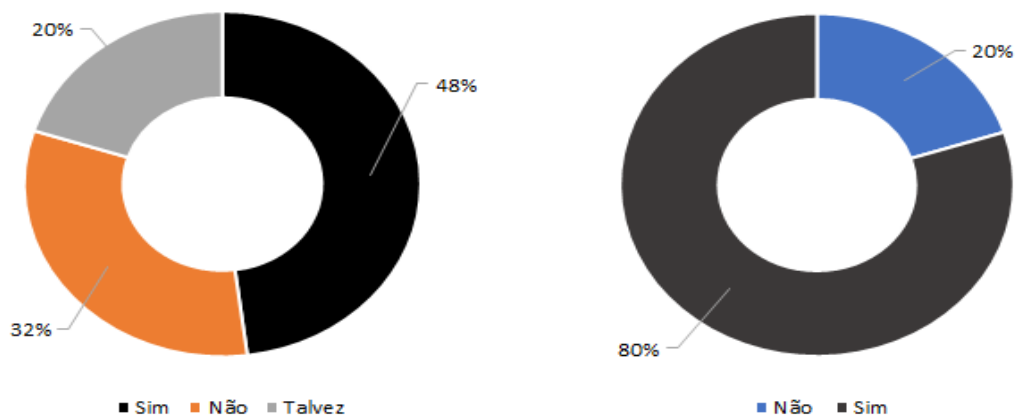


Figura 25- a) Sobre a eficácia do sistema de aquecimento pelos morados b) Se o morador investiria em outro sistema

Das habitações estudadas 48% investiriam nouro sistema mais adequado, já 32% não investiriam em novos sistemas de aquecimento por não verem necessidade de mudar de sistema, ou sentindo a necessidade, as restrições financeiras não o permitem. Importa, todavia, realçar que 80% dos entrevistados considerou o seu sistema uma boa escolha.

#### 4.1.4 Características Construtivas Relacionadas com o Isolamento das Habitações

Para avaliar qualitativamente as condições de isolamento das habitações estudadas foram analisadas informações a respeito do tipo e isolamento das paredes e do tipo de envidraçados (e.g. vidro duplo, vidro simples). Os resultados obtidos para a caracterização do isolamento das habitações estão expressos na Figura 26.

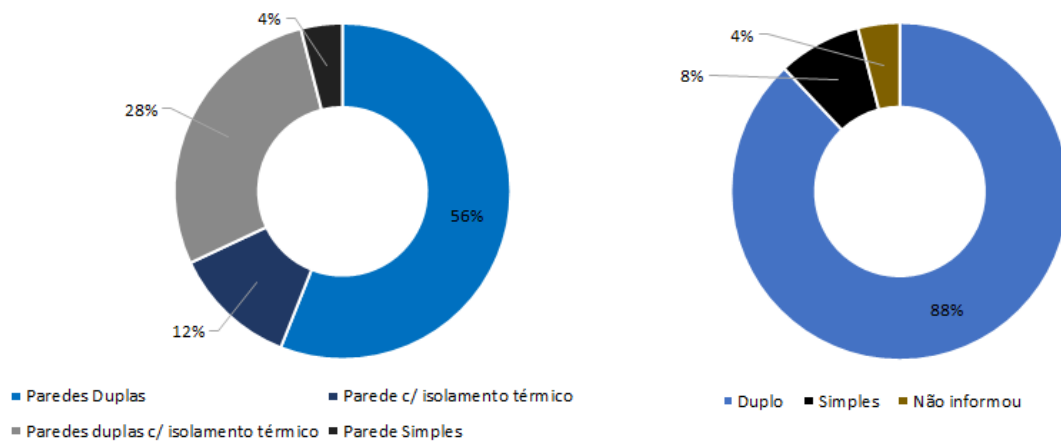


Figura 26- Características de isolamento das paredes e vidrarias das habitações

Os resultados mostram que 56% das habitações possuíam paredes duplas, 28 % paredes duplas com isolamento térmico e 88% vidro duplo. Devido à prevalência de invernos longos e rigorosos na região de estudo era esperado que as habitações apresentassem características indiciadoras de um bom isolamento térmico, de forma a minimizar a utilização dos equipamentos de aquecimento.

#### 4.1.5 Percepção dos Habitantes relativamente à Qualidade do Ar Interior e Qualidade do Ar Ambiente e Conforto Térmico

Foi ainda analisada a percepção dos moradores a respeito da qualidade do ar interior e exterior e o resultados obtidos encontra-se ilustrados Figura 27.

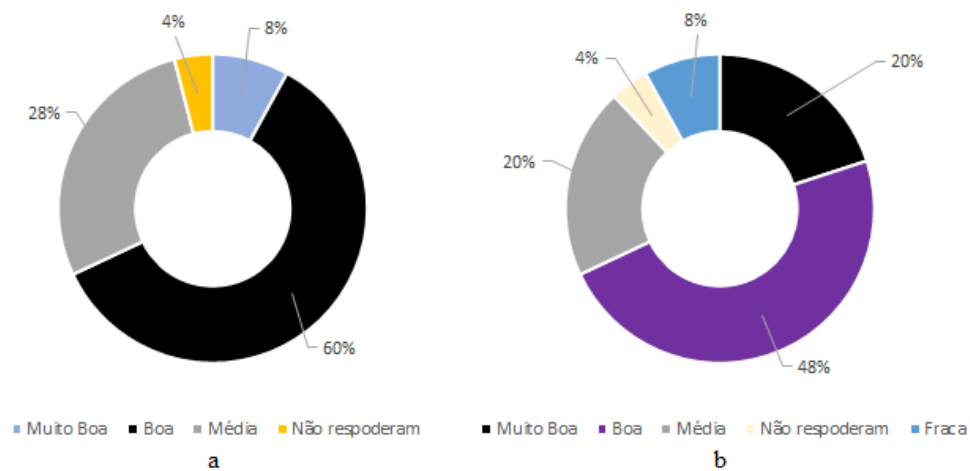


Figura 27- Percepção dos moradores a respeito da qualidade do ar a) Interior b) Exterior

A qualidade do ar interior foi considerada por 60% dos indivíduos como boa, e 28% média. Já a QAI exterior 48% das respostas para boa e 20% muito boa e média.

E por fim foi questionado a respeito da percepção dos habitantes sobre o conforto térmico ( Figura 28).

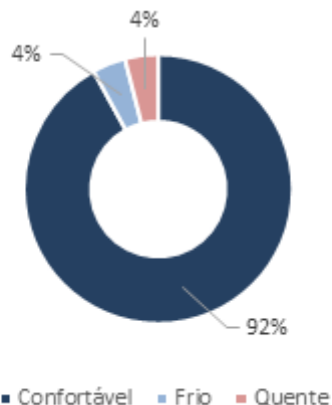


Figura 28- Percepção dos ocupantes a respeito do conforto térmico do espaço interior

No que respeita ao conforto térmico, os moradores de 92% das habitações consideraram as suas casas termicamente confortáveis. Aproximadamente 4% não consideraram o ambiente confortável, classificando-o como quente ou frio.

## 4.2 Análise dos Parâmetros de QAI

Neste sub-capítulo apresentam-se os principais resultados decorrentes da monitorização de parâmetros físico-químicos de QAI, conduzida em cada uma das habitações.

### 4.2.1 Humidade Relativa e Temperatura do Ar

Na Figura que se segue apresenta-se a evolução temporal das médias horárias da humidade relativa e da temperatura do ar ao longo dos ensaios decorridos em cada uma das habitações. Como já foi descrito no ponto 3.6.2, as habitações foram agrupadas em função do sistema de aquecimento e do combustível utilizado.

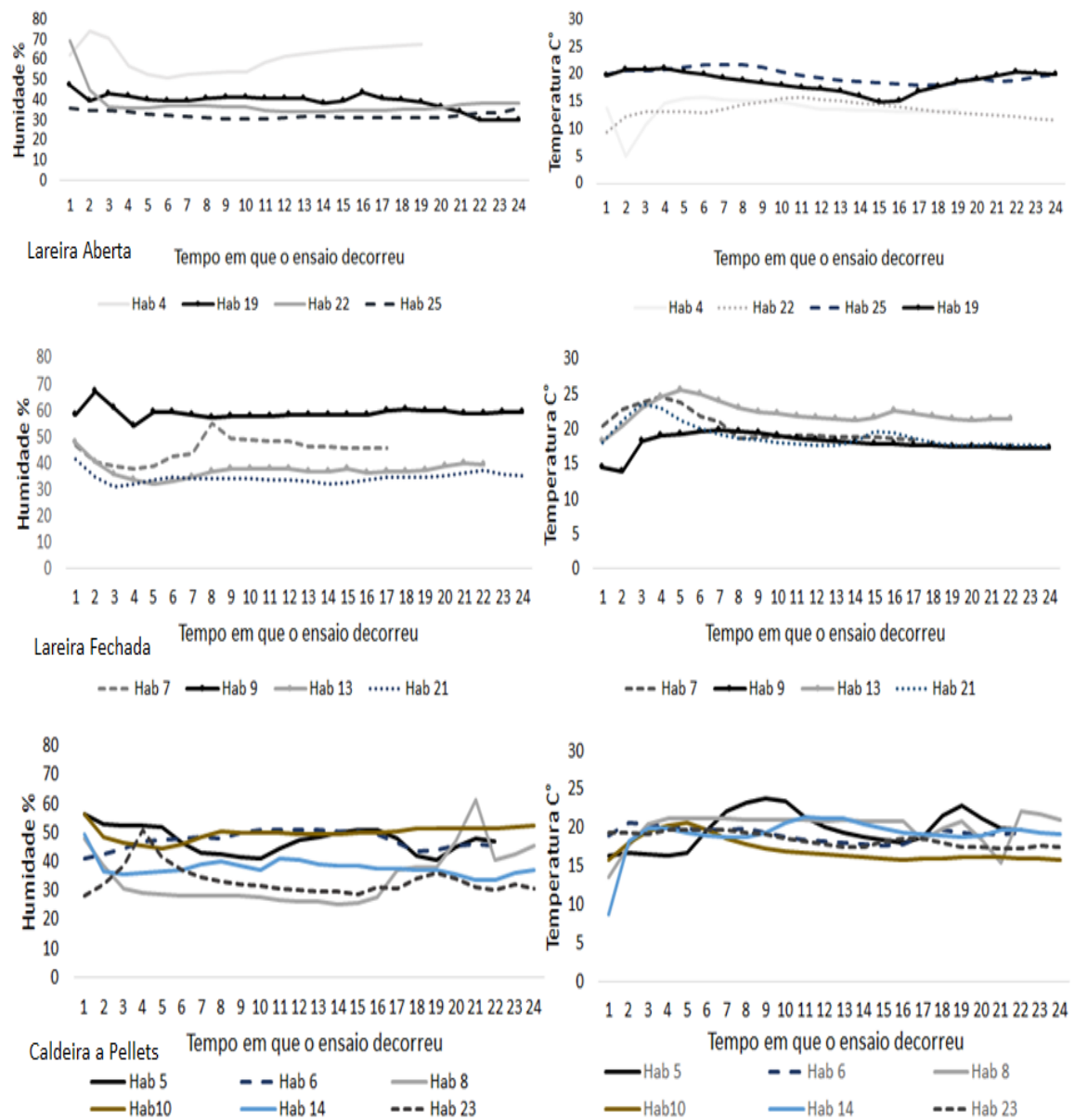


Figura 29-Evolução temporal dos valores médios horários da humidade relativa e e temperatura do ar, para as diferentes habitações da amostra de estudo.

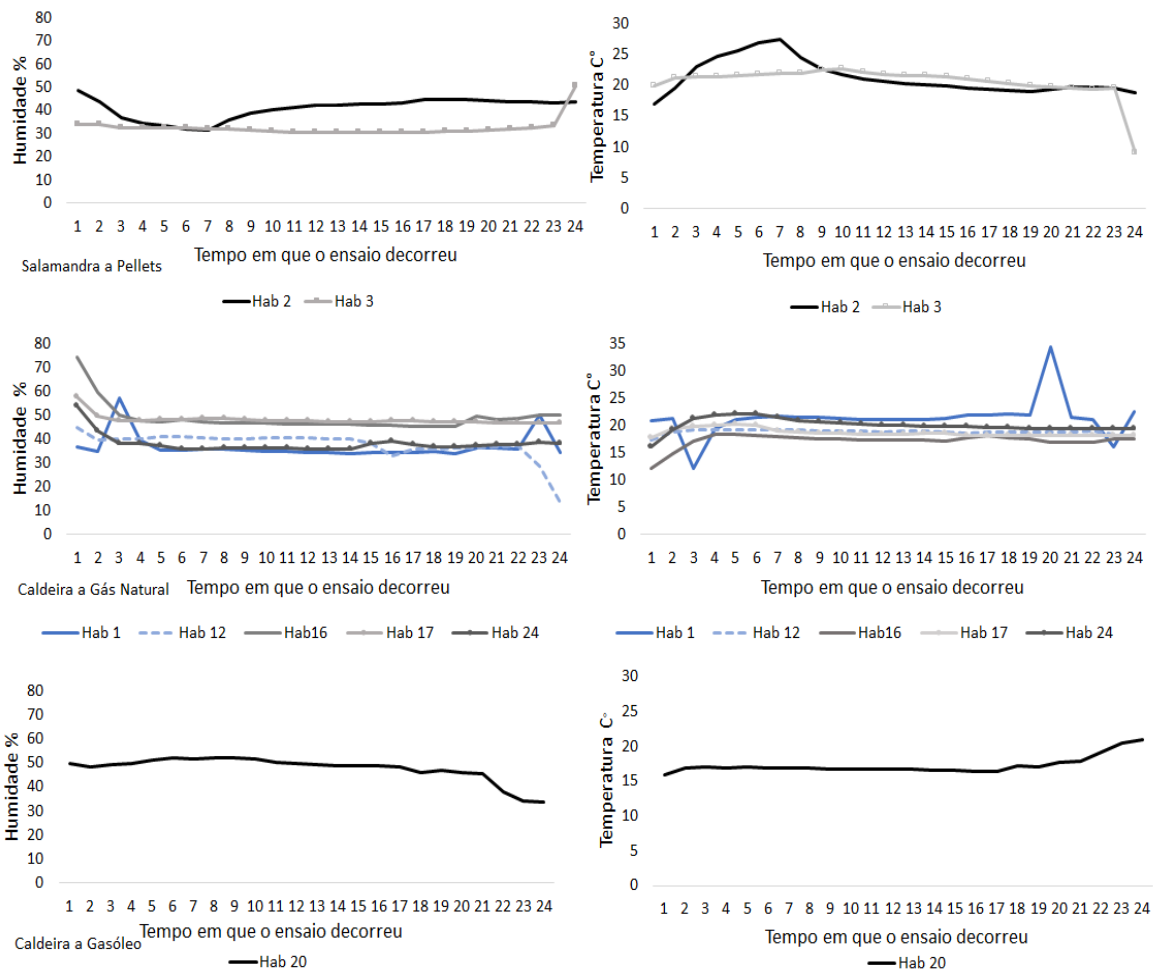


Figura 29 - (Continuação) Evolução temporal dos valores médios horários da humidade relativa e e temperatura do ar, para as diferentes habitações da amostra de estudo.

De uma forma geral, os valores de humidade relativa e temperatura do ar oscilaram em média entre os 30% e os 60% e entre os 15 e os 25°C, respetivamente. Cruzando estes resultados com o diagrama de conforto térmico apresentado na Figura 10, obtém-se a Figura 30.

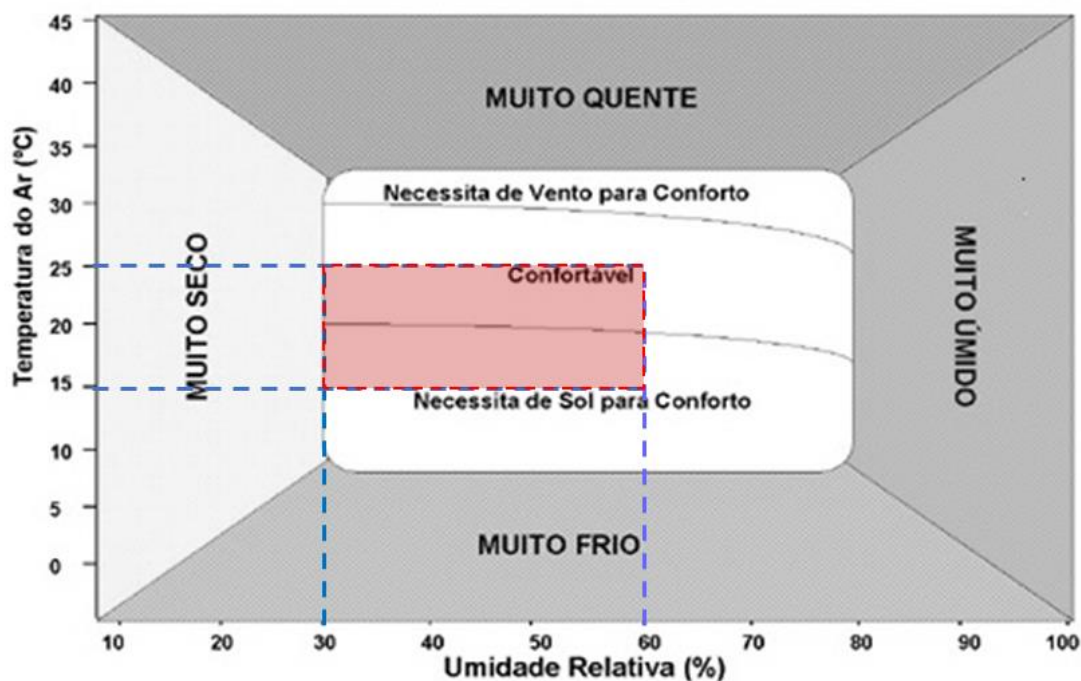


Figura 30- Conforto térmico obtido através dos intervalos médios registados nas habitações

As diferenças encontradas nestes dois parâmetros de conforto térmico da QAI devem-se em parte à tipologia dos sistemas de aquecimento utilizados e à forma como são operados ao longo do ciclo diário. Os sistemas de aquecimento central com controladores termostatizados asseguram condições mais estáveis de humidade e temperatura ao longo do dia. Para as condições de humidade observadas, com a temperatura acima de 20°C durante os sistemas de aquecimento ligados, as condições térmicas revelaram-se confortáveis. Para temperaturas inferiores a 20°C prevalentes nos momentos de aquecimento desligado, prevaleceram condições de menor conforto térmico, sendo necessário alguma exposição solar para o alcançar.

Nas habitações com sistemas de aquecimento de controlo manual verifica-se que, em alguns casos, ambos os parâmetros apresentam variações substanciais ao longo do dia. Noutras situações, como se pode ver nas habitações com lareiras, era expectável um registo com variações de maior amplitude, mas a inércia térmica dos edifícios parece ser suficiente para manter condições relativamente estáveis ao longo do dia, embora com temperaturas mais baixas e humidades relativas um pouco mais elevadas.

Comparando os valores obtidos com os valores ideais estabelecidos na Norma ISO 7730 (entre 30 a 60%), os valores registados nas habitações com caldeira e salamandra a pellets, e caldeira a gásóleo estão dentro do intervalo considerado ideal. Para habitações com lareiras abertas e fechadas e caldeiras a gás natural, que apresentaram valores de humidade relativa até 70%, constata-se que nem sempre é fácil assegurar as condições termicamente mais confortáveis e menos favoráveis ao crescimento de microrganismos (Pegas *et al.*, 2011).

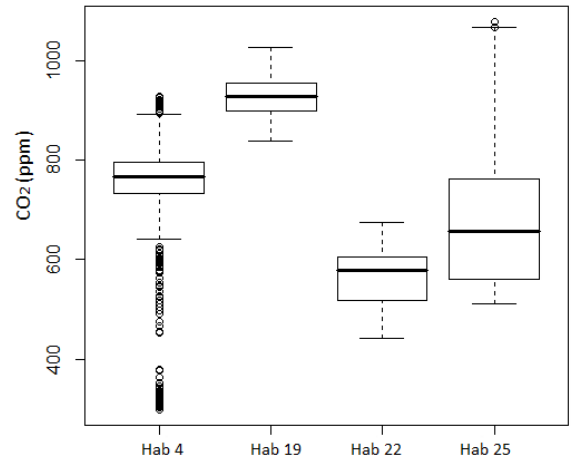
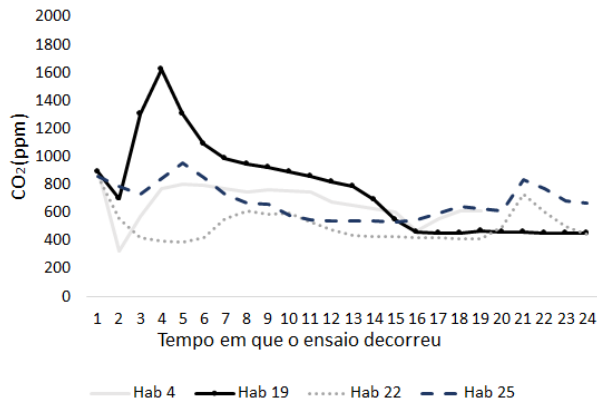
Segundo Peeters *et al.*, (2009) as temperaturas encontradas estão de acordo com as condições que indicam um conforto térmico adequado, sendo este na faixa entre 16° e 26°C. Conforme se pode observar nas figuras acima as temperaturas mantiveram-se nesses patamares durante a maior parte do ensaio, sendo o valor mínimo de 5°C para lareira fechada, quando o sistema não estava em funcionamento. Com os sistemas em funcionamento, os espaços das habitações onde se realizaram as medições tendem a apresentar condições de humidade e temperatura dentro dos limiares de conforto térmico.

#### 4.2.2 Dióxido de Carbono e Ventilação

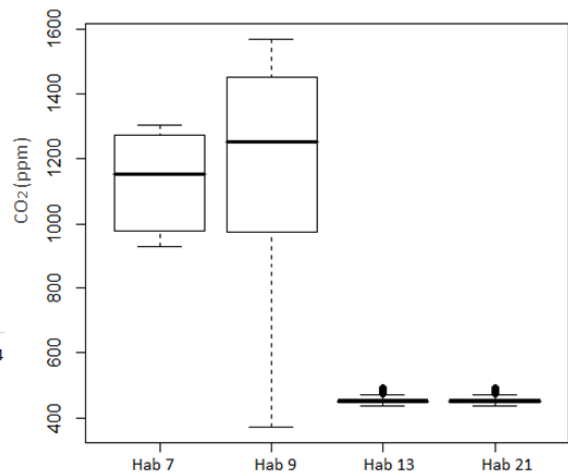
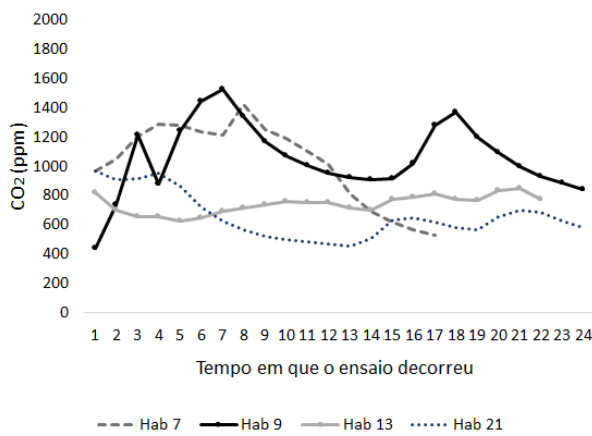
Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos para as concentrações de CO<sub>2</sub>. Além disso, procurar-se-á inferir as condições de ventilação das habitações, bem como as condições de estanqueidade das mesmas.

##### *Concentrações de CO<sub>2</sub>*

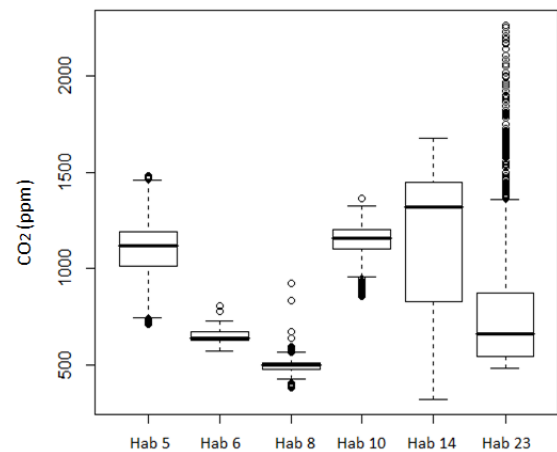
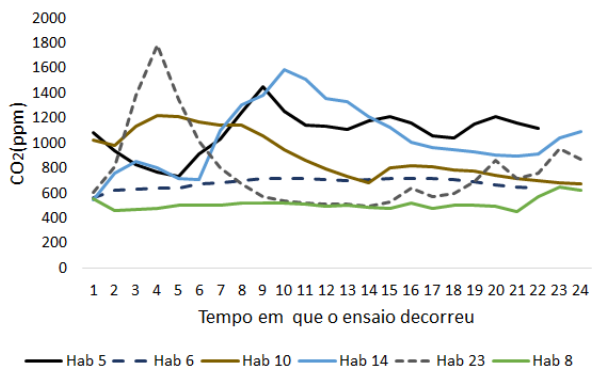
A evolução temporal das médias horárias das concentrações de CO<sub>2</sub>, bem como a distribuição interquartil encontram-se representada na Figura 31 para todas as habitações, agrupadas de acordo com o sistema de aquecimento o combustível utilizado.



### Lareira aberta

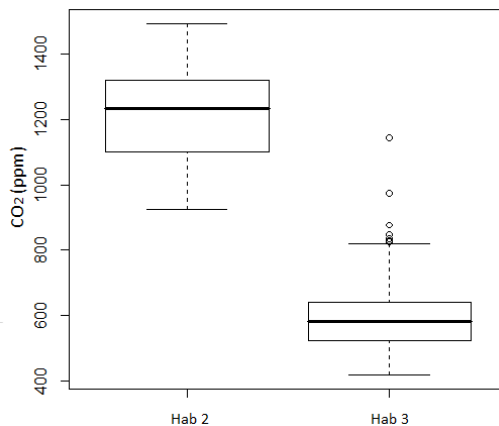
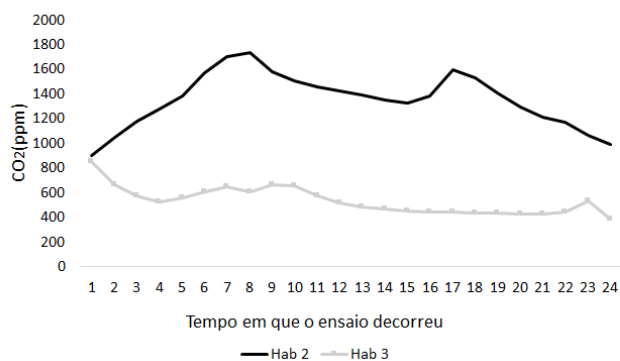


### Lareira Fechada

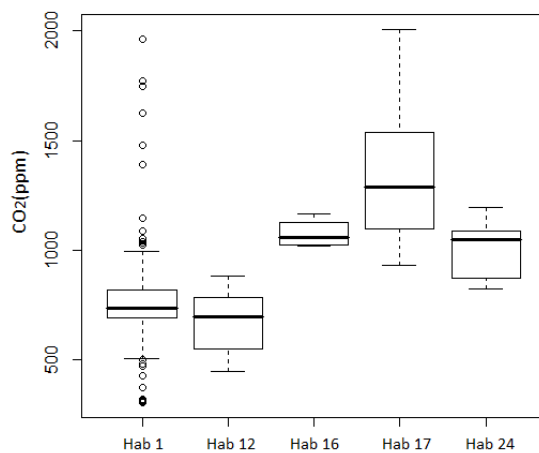
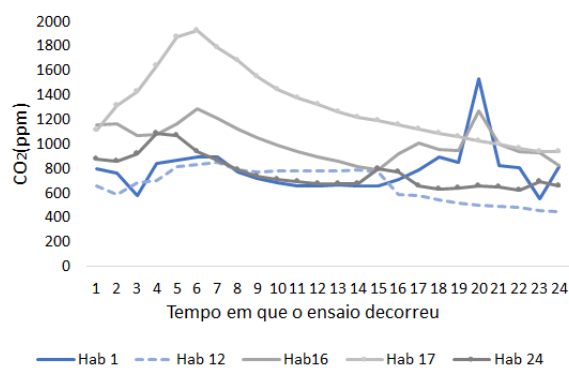


### Caldeira a pellets

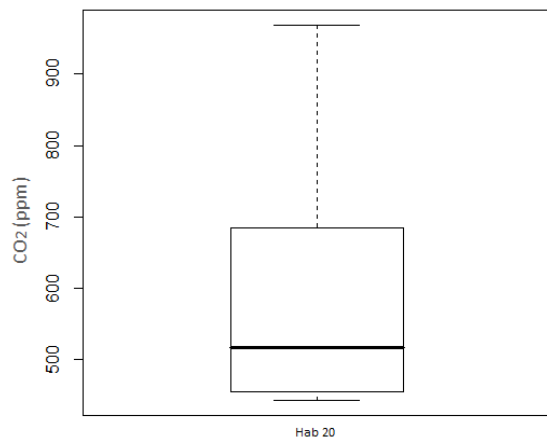
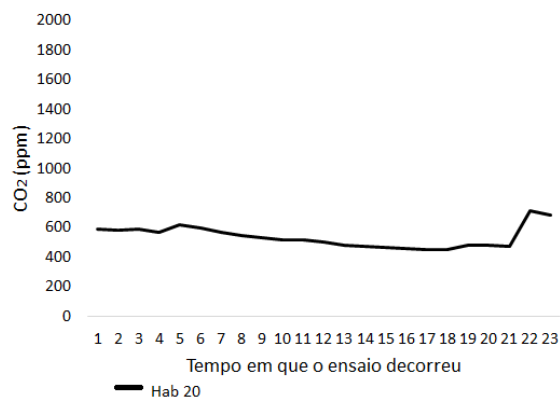
Figura 31-Evolução temporal da concentração média horária de CO<sub>2</sub> (Esquerda); Distribuição interquartil das concentrações médias de 1 minuto de CO<sub>2</sub>, referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita)



### Salamandra a pellets



### Caldeira a Gás natural



### Caldeira a gásóleo

Figura 31- (Continuação) Evolução temporal da concentração média horária de CO<sub>2</sub> (Esquerda); Distribuição interquartil das concentrações médias de 1 minuto de CO<sub>2</sub>, referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita)

Como expectável, uma grande parte das habitações apresentaram alguma variabilidade ao longo do dia no que respeita às concentrações de CO<sub>2</sub>, com os valores médios horários mínimos próximos dos 400 ppm e médios horários máximos muito variáveis de habitação para habitação, oscilando entre os 600 ppm e os 2000 ppm.

Em termos médios as habitações com níveis mais elevados entre 1250 e 2000 ppm, foram a 1, 2, 5, 6, 7, 9, 10, 14, 17, 23, 25 sendo que na sua maioria registam-se apenas picos de elevadas concentrações. Quando analisados os boxplots, as habitações 9, 12, 16, 17 e 24, em grande parte durante o período de funcionamento dos sistemas de aquecimento, apresentaram concentrações superiores a 1250 ppm.

Para as habitações referidas anteriormente com picos de CO<sub>2</sub>, as causas estão relacionadas com a entrada ou a saída dos ocupantes dessas habitações. Já para aquelas que apresentaram concentrações elevadas durante a maior parte do período de medição (habitações 9, 12, 16, 17 e 24), podemos relacioná-las com as condições de má ventilação, principalmente durante a utilização do sistema de aquecimento, sendo que destas 5 habitações, 4 eram constituídas por paredes duplas, um fator que colabora com a estanqueidade destas residências e conseqüentemente com as elevadas concentrações observadas nas mesmas. Nestes casos é indicado praticar a abertura de janelas pelo menos durante um curto período, para assim melhorar as condições de ventilação.

Como já foi referido anteriormente, para os níveis encontrados, o CO<sub>2</sub> não é particularmente um constituinte do ar com efeitos diretos na saúde humana, mas atua particularmente como um indicador de ventilação dos espaços interiores, ou seja, concentrações de CO<sub>2</sub> mais elevadas encontram-se geralmente associadas a locais com uma ventilação deficiente, enquanto concentrações mais baixas indicam a prevalência de uma boa ventilação dos espaços ou a ausência de uma fonte relevante deste constituinte.

Como referido anteriormente no ponto 2.6, a Portaria 353-A/2013, de 4 de dezembro estabelece que níveis de CO<sub>2</sub> acima de 1250 ppm indiciam condições deficientes de ventilação podendo resultar na acumulação de outros contaminantes com efeitos adversos para a saúde humana.

De um modo geral, podemos afirmar que os aumentos dos níveis de CO<sub>2</sub> ocorreram em resultado da influência dos sistemas de queima cujas emissões podem em alguns momentos ocorrer para o interior da habitação e, particularmente, da concentração

e permanência dos ocupantes nos locais de medição. No sentido inverso, os decréscimos dos níveis deste constituinte do ar identificados na maior parte das habitações estão associados a aberturas de janelas/portas, práticas rotineiras adotadas por alguns dos moradores, ou simplesmente pela conjugação da ausência de fontes deste constituinte (e.g. processos de combustão, metabolismo humano) e consequente diluição causada pela renovação de ar novo (exterior) ou provindo de outros compartimentos da habitação com níveis de CO<sub>2</sub> inferiores.

### *Condições de isolamento/estanqueidade das habitações*

As concentrações médias horárias de CO<sub>2</sub> foram ainda usadas para quantificar as taxas de renovação de ar durante o período noturno, como descrito no ponto 5.2.2. Dado que durante o período noturno, as habitações se mantiveram com as janelas fechadas por uma questão de poupança energética e de manutenção de algum conforto térmico, as taxas de renovação de ar estimadas correspondem essencialmente às taxas de infiltração do espaço, i.e., fornece-nos informação sobre a estanqueidade da habitação.

Após avaliado os períodos de decaimento de CO<sub>2</sub> e aplicada a metodologia definida no ponto 3.6.1, as taxas de renovação do ar obtidas para cada habitação foram calculadas e representadas na Figura 32.

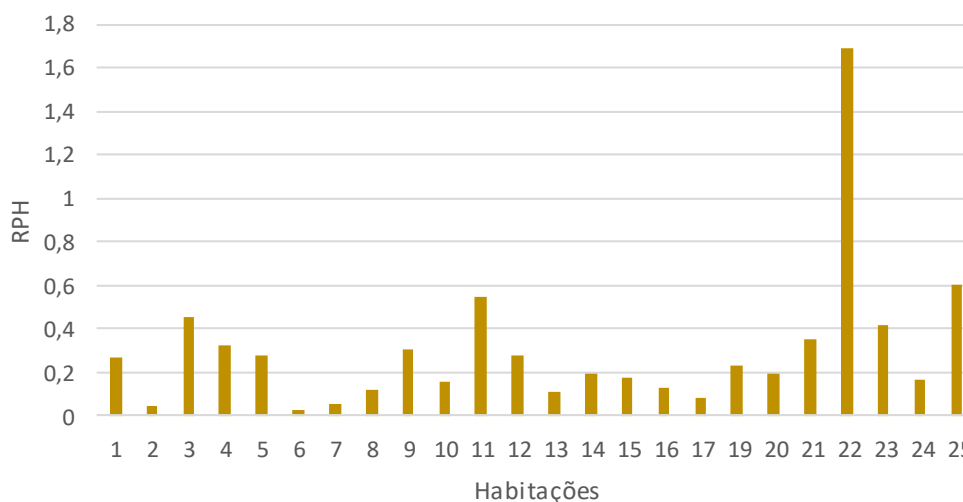


Figura 32- Taxa de renovação do ar durante o período noturno (equivalente à taxa de infiltração da habitação).

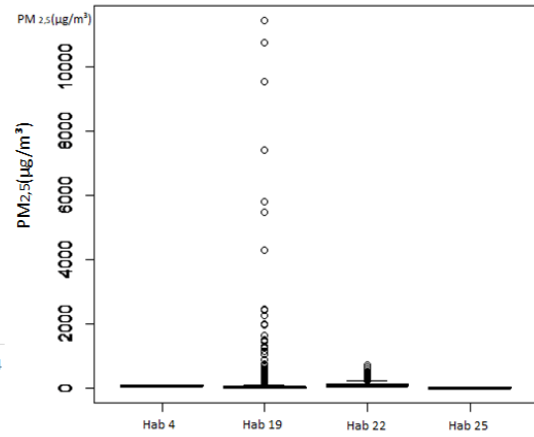
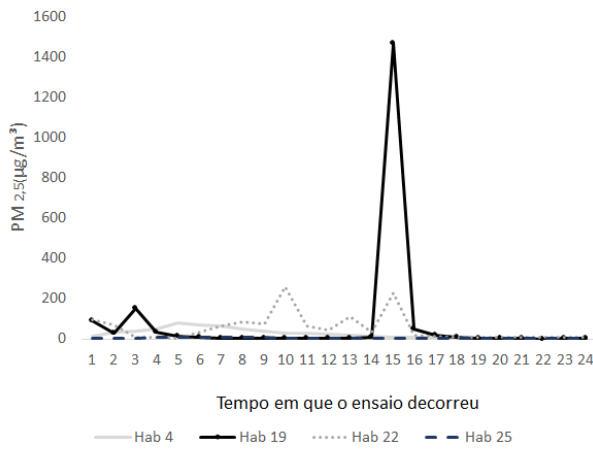
Apesar desta metodologia apresentar algumas incertezas, constata-se que as habitações apresentam um bom nível de estanqueidade com uma larga maioria a exibirem valores de RPH abaixo dos  $0,6 \text{ h}^{-1}$ , indicando a necessidade de incluir nas rotinas diárias outras formas de ventilação como a abertura de janelas, por um período ainda que relativamente curto.

Estudos realizados por Weichenthal (2007), em habitações no Canadá com sistemas de aquecimento variados, encontraram valores médios de RPH abaixo de  $0,6 \text{ h}^{-1}$  tal como foi observado nas casas analisadas por este estudo, onde apenas uma habitação apresentou valores superiores a  $0,6 \text{ h}^{-1}$ .

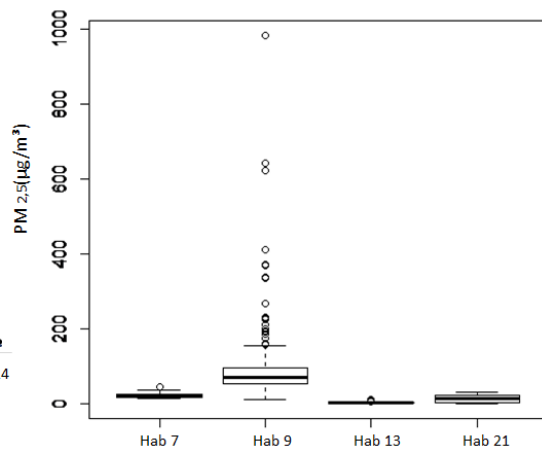
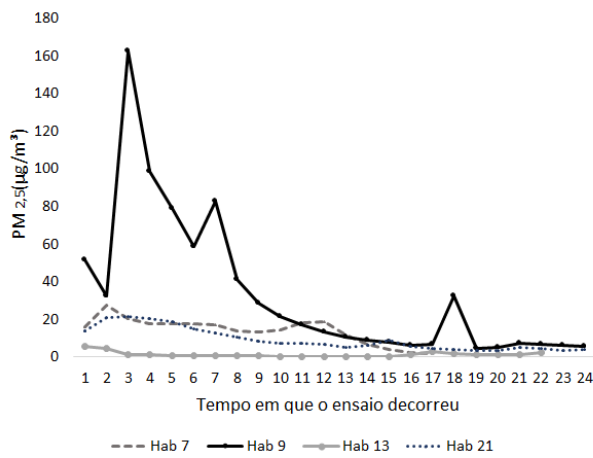
Do ponto de vista energético edifícios estanques já foram considerados bons locais para se viver, por manter mais tempo uma temperatura estável, porém no que se refere a QAI gera uma acumulação de poluentes nas atmosferas interiores, por não permitir a renovação do ar, causando condições adversas para que uma boa qualidade do mesmo seja mantida, sendo então necessário práticas que proporcionem a ventilação do ambiente como dito anteriormente.

#### 4.3 Material Particulado

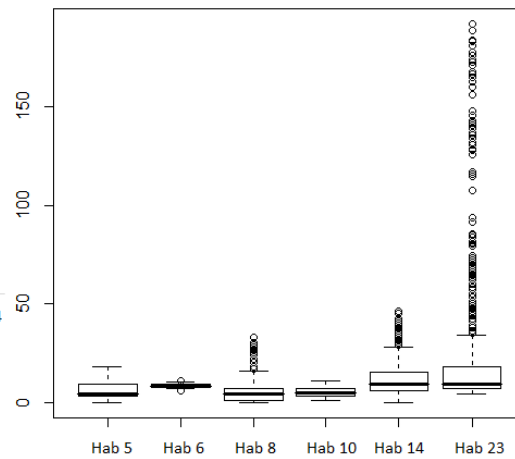
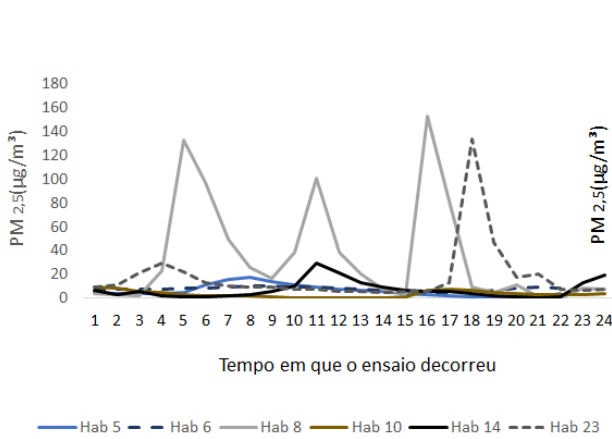
Na Figura 33 apresenta-se a evolução temporal das concentrações médias horárias de  $\text{PM}_{2,5}$  para cada uma das habitações estudadas (gráficos da esquerda), bem como a distribuição interquartil das concentrações medidas para o período em que o sistema de aquecimento esteve ligado (gráficos da direita), sendo este período variável de uma habitação para outra.



### Lareira Aberta

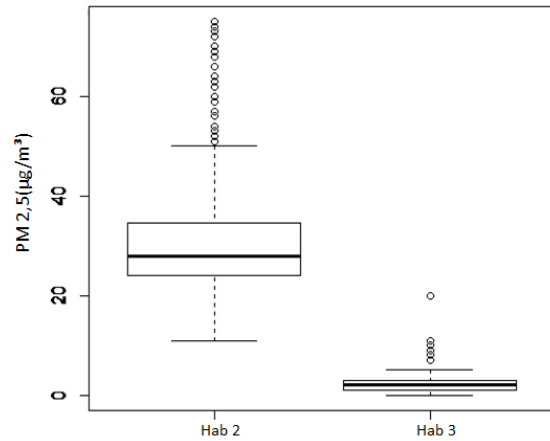
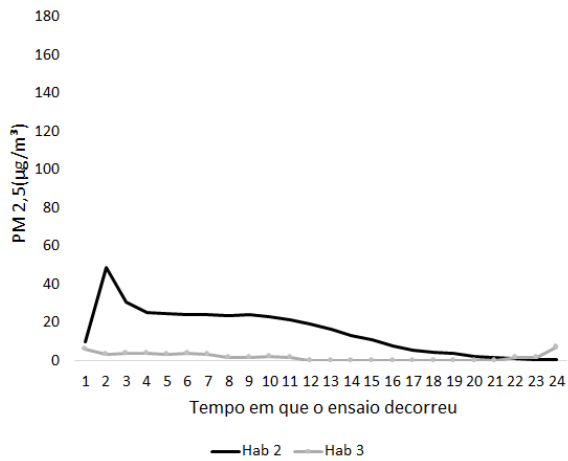


### Lareira Fechada

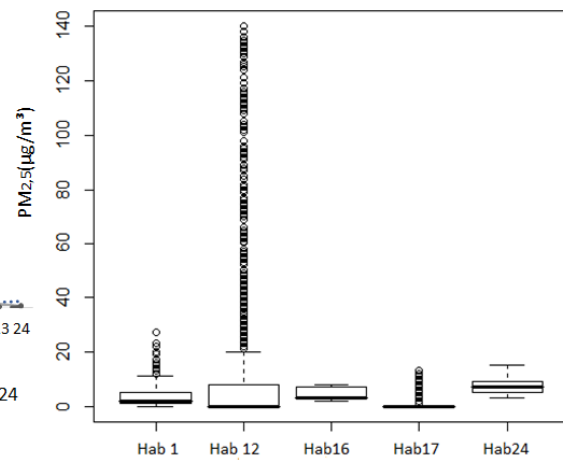
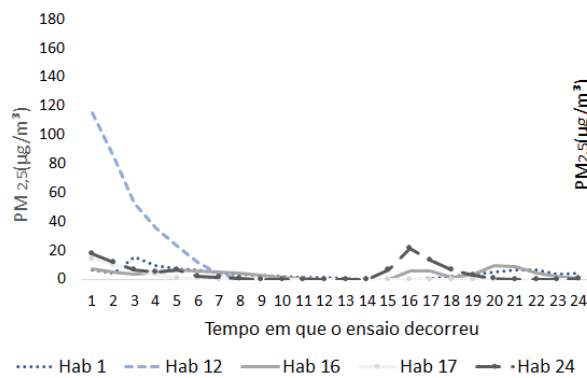


### Caldeira a pellets

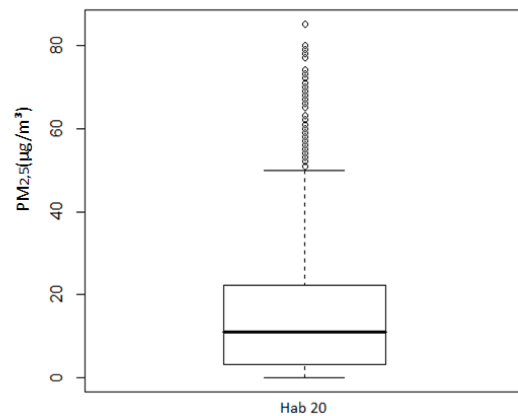
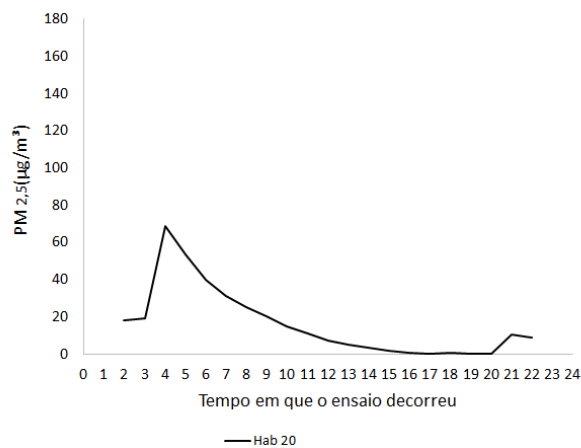
Figura 33- Evolução temporal da concentração média horária de PM<sub>2,5</sub>(esquerda) - Distribuição interquartil da concentração média de 1 minuto de PM<sub>2,5</sub>, referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita)



### Salamandra a pellets



### Caldeira a Gás natural



### Caldeira a gásóleo

Figura 33- (Continuação) Evolução temporal da concentração média horária de PM<sub>2,5</sub> - Distribuição interquartil da concentração média de 1 minuto de PM<sub>2,5</sub>, referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento

Nos sistemas alimentados a lenha foram observadas concentrações de  $PM_{2,5}$  mais elevadas tanto para as lareiras abertas quanto para as lareiras fechadas. Nas habitações com lareiras abertas foram registadas concentrações máximas, medidas por minuto durante o funcionamento do sistema de aproximadamente  $11000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e as médias horárias atingiram máximos de aproximadamente  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nas habitações com lareiras fechadas, as concentrações foram globalmente mais baixas, mas em alguns casos as concentrações por minuto atingiram valores de cerca de  $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e as médias horária aproximaram-se das  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

As concentrações médias mais elevadas foram registadas nas habitações 19 e 22, ambas com sistemas de aquecimento com lareira aberta. Sendo a habitação 19 a que apresentou os picos mais elevados de concentração ( $1460 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), que ocorreu no período da manhã. Para a habitação 22, as concentrações mais elevadas foram registadas no período noturno e o seu pico foi de  $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A habitação 25, apesar de estar equipada com lareira aberta, apresentou baixas concentrações, com um valor máximo horário de  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , evidenciando o carácter excepcional deste sistema de queima.

A habitação 19, que fazia o uso da lareira aberta, apresentou valores próximos de  $11000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , durante o funcionamento do sistema, mas após um instante baixaram consideravelmente como se pode observar através das médias horárias que se mantiveram próximas a  $1460 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , porém, ainda assim, o quartil máximo manteve-se próximo de  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Na habitação 25, a mediana das concentrações foi de aproximadamente  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Para as lareiras fechadas a habitação 9 apresentou valores médios de cerca de  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , porém em alguns momentos registaram-se picos de concentração de  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para as habitações 7 e 21, as concentrações mantiveram-se, por alguns momentos, em torno de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e na habitação 13 foram encontradas as concentrações mais baixas, próximas a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

As habitações 14 e 23, com caldeiras a pellets, apresentaram os valores mais elevados de  $PM_{2,5}$ , sendo as concentrações médias horárias de  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e as de minuto de  $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Na habitação 3 registaram-se valores médios bem mais baixos, de aproximadamente  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e na habitação 2 foram registados os níveis mais elevados ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante as medições.

A análise dos gráficos das distribuições interquartis (boxplots) para as habitações com caldeiras a pellets mostra que na habitação 23 ocorreram várias situações com valores extremos, com concentrações superiores a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  enquanto na habitação 14 os valores extremos de maior magnitude foram de aproximadamente de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Porém, as medianas mantiveram-se em níveis semelhantes para todas as habitações, com concentrações de aproximadamente  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nas habitações com salamandras, os resultados mostram duas situações muito distintas. Na habitação 2, as medianas das concentrações de  $\text{PM}_{2,5}$  foram superiores às registadas para as caldeiras a pellets e na habitação 3 foram inferiores.

Analisando os valores de  $\text{PM}_{2,5}$  registados nas habitações com caldeiras a gás natural, constata-se que os níveis de material particulado foram sistematicamente mais baixos. Apenas a habitação 12 apresentou valores iniciais com concentrações relativamente elevadas, com valores médios horários superiores a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Porém, esse período de maior contaminação do ar interior foi associado à queima de incenso no local da medição. Com a eliminação dessa fonte de poluição, os valores se estabilizaram e mantiveram-se numa faixa de baixa concentração.

Na habitação 24, as concentrações médias tenderam a ser ligeiramente mais elevadas do que nas outras habitações com caldeiras a gás, valores próximos a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Esta situação pode ser explicada em parte pelo facto de a cozinha ser um espaço contíguo ao local de medição (Raquel & Coentro, 2015).

Para a habitação com caldeira a gasóleo os valores mais elevados foram de  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que coincidiu com o momento em que estava havendo a limpeza da residência, sendo expectável um aumento na concentração de partículas proporcionado pela varredura e espanação do ambiente (Batista, 2008).

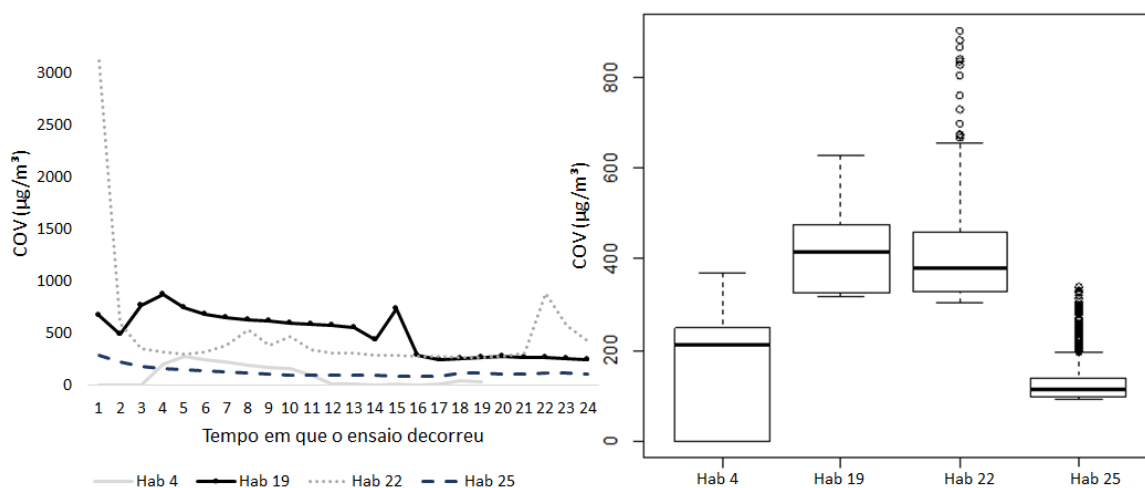
É importante notar que, em alguns momentos, as concentrações médias e principalmente as registadas durante o funcionamento das lareiras abertas e fechadas, apresentaram valores muito elevados quando comparados com os limiares de proteção da saúde humana.

O mesmo comportamento foi observado em residências na Alemanha onde também se constatou que as lareiras a lenha eram importantes fontes de material particulado e de poluentes gasosos, principalmente em momentos em que a câmara de

combustão era aberta para colocar mais lenha (Salthammer *et al.*, 2014). Estudos realizados em Portugal encontraram concentrações elevadas tal como as observadas nas habitações estudadas para emissão de PM<sub>2,5</sub> por lareiras. Sendo registados valores máximos superiores a 170 µg/m<sup>3</sup> (Coentro, 2015).

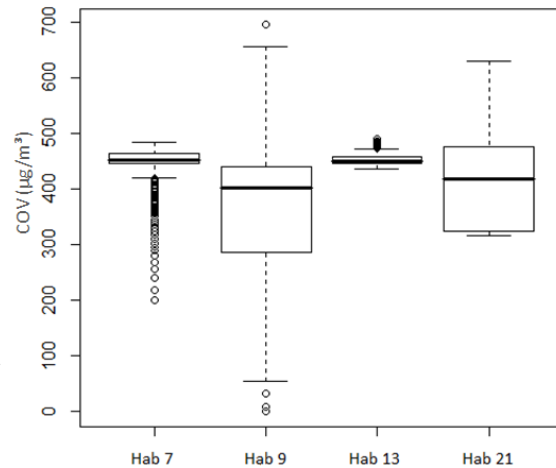
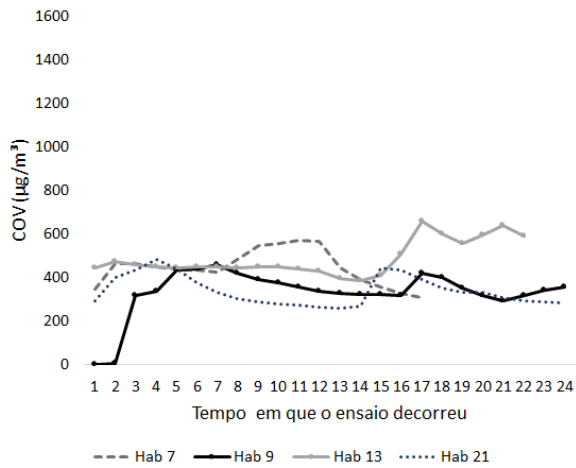
#### 4.3.1 Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT)

A Figura 34 que se segue apresenta a evolução temporal das médias horárias de COVT (esquerda) e a distribuição interquartil das concentrações registadas durante o período de funcionamento do sistema de aquecimento por minuto (direita), para cada uma das habitações, sendo agrupadas por tipo de sistema de aquecimento e tipo de fonte de energia utilizada.

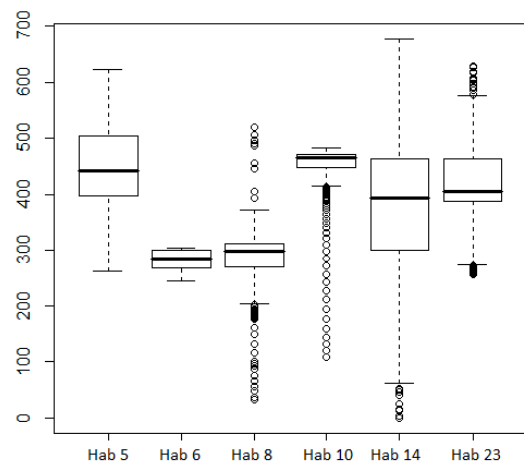
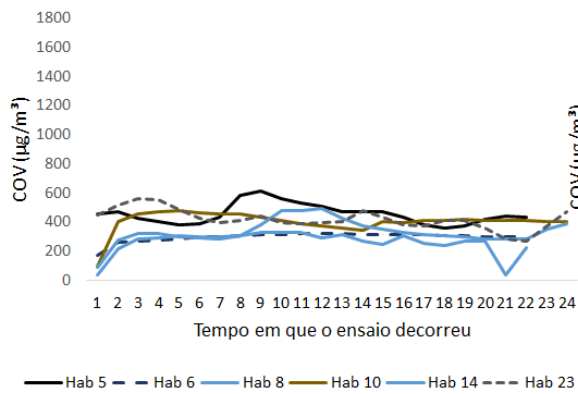


#### Lareira Aberta

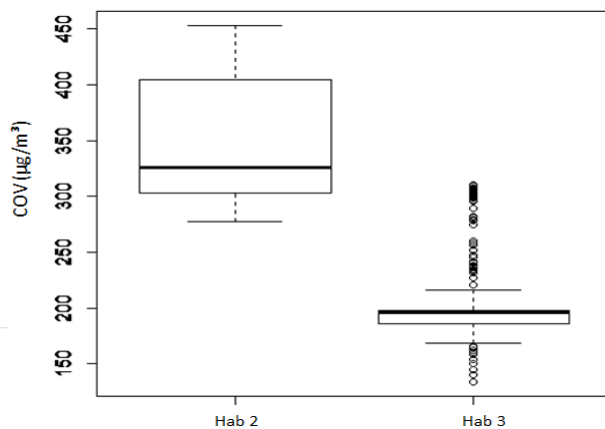
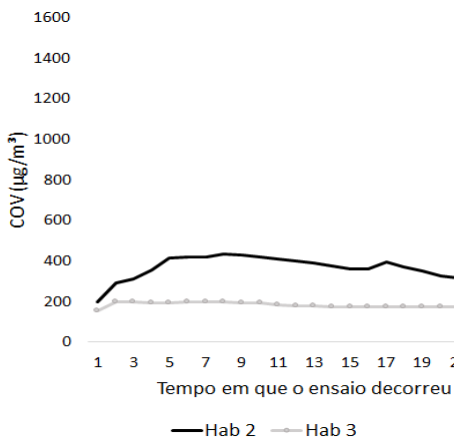
Figura 34-Evolução temporal da concentração média horária de COV (Esquerda) e Distribuição interquartil da concentração média de 1 minuto de COV referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita)



Lareira Fechada

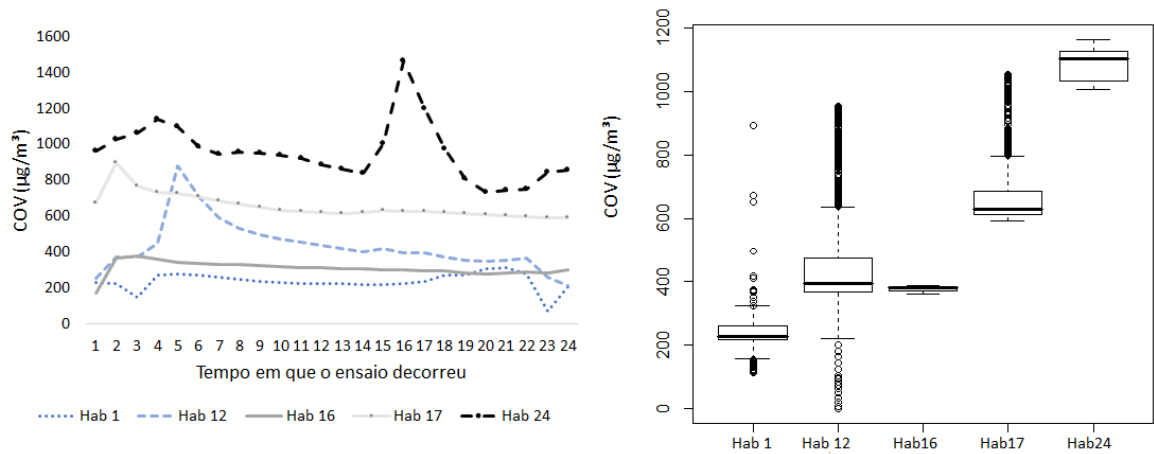


Caldeira a pellets

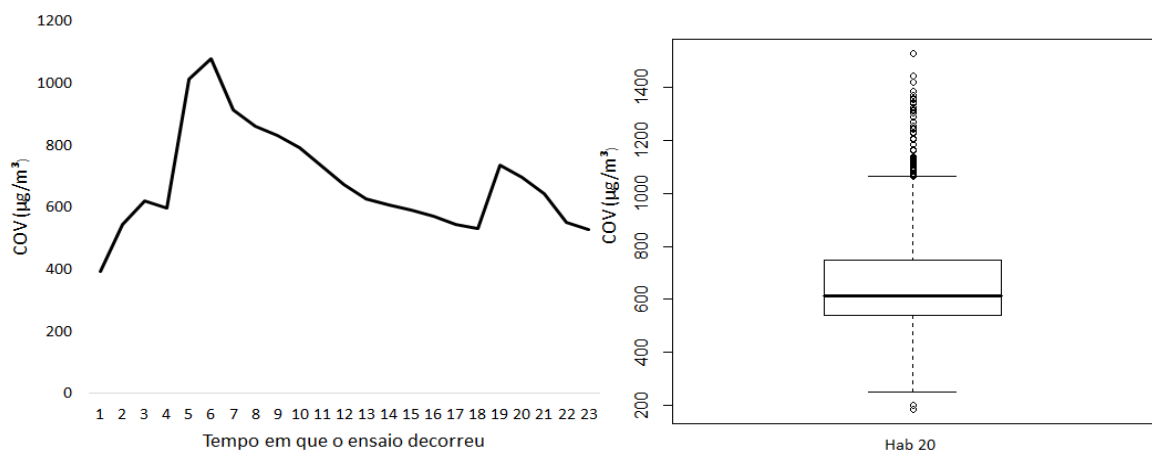


Salamandra a pellets

Figura 34-(Continuação) Evolução temporal da concentração média horária de COV (Esquerda) e Distribuição interquartil da concentração média de 1 minuto de COV referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita)



### Caldeira a Gás natural



### Caldeira a Gasóleo

Figura 34-(Continuação) Evolução temporal da concentração média horária de COV (Esquerda) e Distribuição interquartil da concentração média de 1 minuto de COV referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita)

Nas habitações com lareira aberta os valores médios variaram entre  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (habitações 4 e 25) e  $450 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (habitações 19 e 22). Porém, no início da medição na habitação 22, as concentrações de COV atingiram valores superiores a  $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , devido no momento estar ocorrendo a confeção de alimentos, uma vez que nessa habitação a lareira aberta estava na sala que era conjunta com a cozinha, o mesmo foi observado para a habitação 19. No gráfico da direita pode-se observar que os níveis máximos para a habitação 22 durante o funcionamento do sistema foram de  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , e para a habitação 19 o período de funcionamento do sistema coincidiu com o período do preparo dos alimentos com as concentrações próximas a  $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Para a avaliação em habitações que faziam o uso de caldeiras e salamandras a pellets os valores médios encontrados foram aproximadamente de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

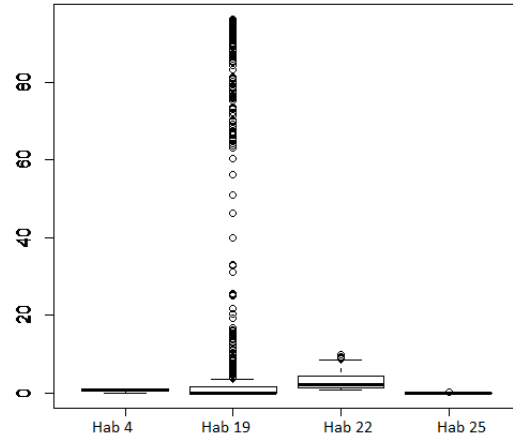
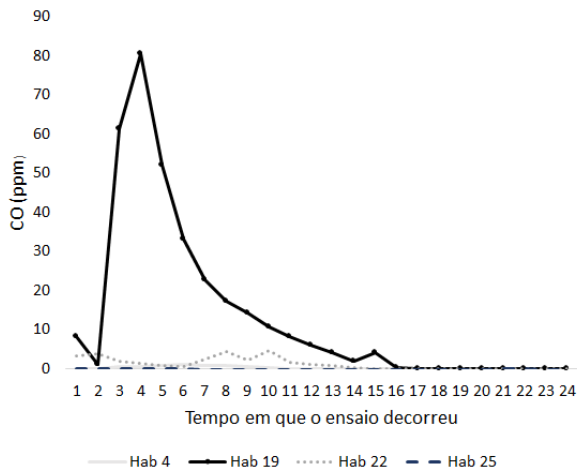
Para caldeira a gás natural as concentrações estiveram próximas de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 1400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , demonstrando grande variabilidade e extremos bem superiores aos vistos para as caldeiras e salamandras abastecidas a pellets.

O gasóleo apresentou para as médias horárias uma concentração que variou de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a mediana se manteve por volta de 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , porém foram observados em alguns momentos concentrações superiores a 1400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nesta habitação.

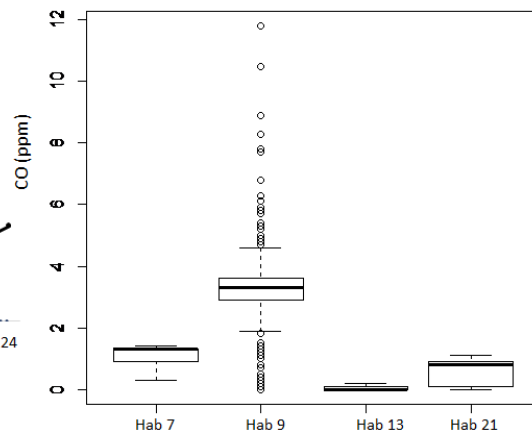
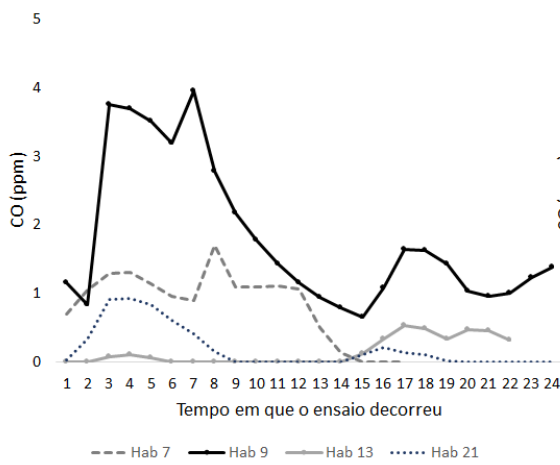
Contrariamente ao reportado para as  $\text{PM}_{2,5}$ , constata-se que o padrão de variação dos níveis de COV não se encontra relacionado nem com a tipologia nem com o funcionamento do sistema de aquecimento. Na verdade, as situações com concentrações mais elevadas de COV ocorreram em habitações com caldeiras a gás (habitações 17 e 24), com valores médios horários sistematicamente superiores a 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nestas habitações registaram-se aromas fortes associados a produtos de limpeza e/ou ambientadores. Na habitação 12 a utilização de incenso, além do aumento dos níveis de  $\text{PM}_{2,5}$  já identificado anteriormente, também está na origem da emissão de COV, observadas no início da medição com valores próximos a 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Lee & Wang, 2004). E para as habitações de lareira aberta 19 e 22, como já dito anteriormente, ocorreram alguns picos durante a confeção de alimentos.

#### 4.3.2 Monóxido de carbono (CO)

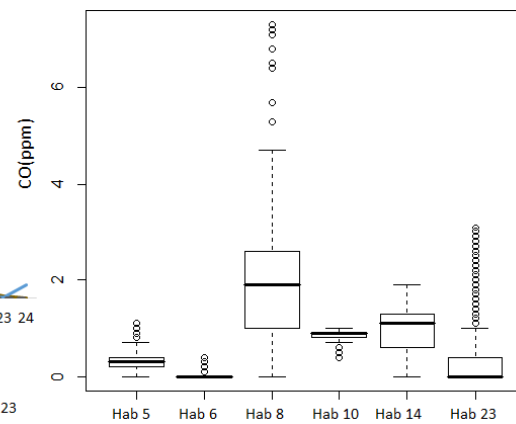
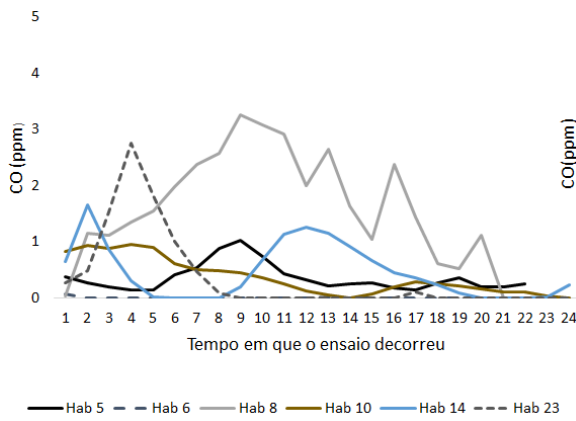
Na Figura 35 apresenta-se os valores das concentrações médias horárias de CO obtidas nas várias habitações estudadas. Nos gráficos da esquerda, a evolução temporal das concentrações médias horárias e nos da direita a respetiva distribuição interquartil registadas durante o funcionamento do sistema de aquecimento sendo estas concentrações medidas por minuto.



### Lareira Aberta

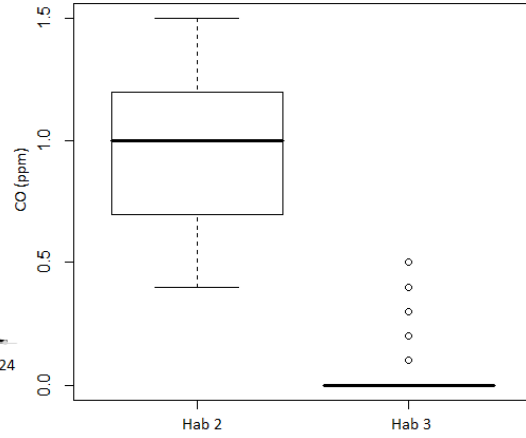
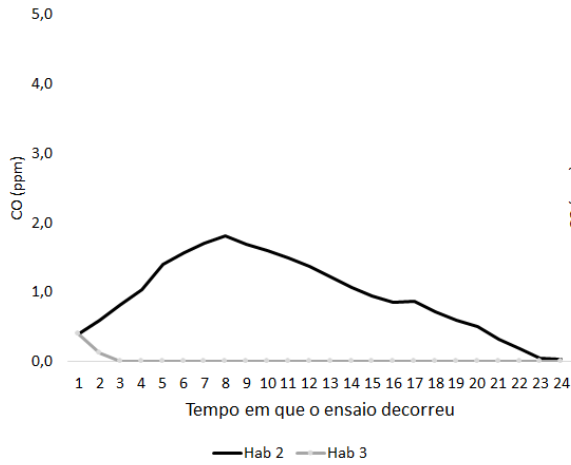


### Lareira fechada

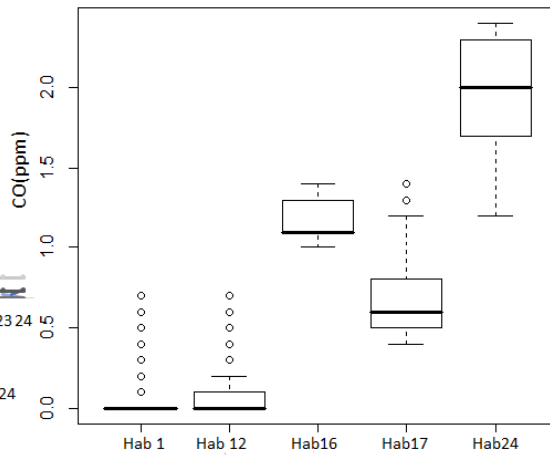
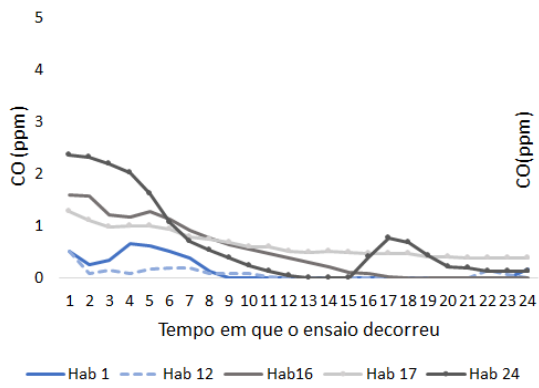


### Caldeira a pellets

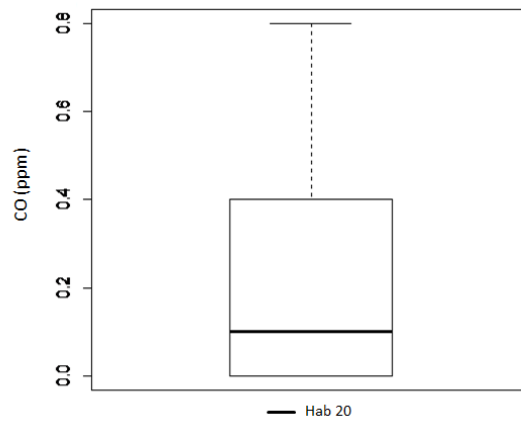
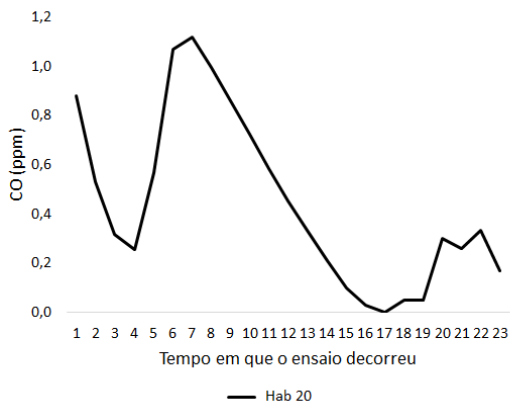
Figura 35- Evolução temporal da concentração média horária de CO (Esquerda); Distribuição interquartil das concentrações médias de 1 minuto de CO, referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita)



### Salamandras a pellets



### Caldeira a Gás natural



### Caldeira a Gasóleo

Figura 35-(Continuação) Evolução temporal da concentração média horária de CO (Esquerda); Distribuição interquartil das concentrações médias de 1 minuto de CO, referente ao período de funcionamento do sistema de aquecimento (Direita).

As habitações que utilizavam lareiras tanto fechadas como abertas foram as que apresentaram as concentrações mais elevadas de CO, ultrapassando em alguns momentos os limiares considerados adequados para a saúde tendo sido a concentração mais elevada, de aproximadamente 80 ppm, registada durante o período noturno na habitação 19.

A habitação 9 quando analisada a média temporal a maior concentração foi de 4 ppm, porem quando analisado a concentração durante o funcionamento do sistema o valor máximo foi de 12 ppm.

Em geral as concentrações tanto para caldeiras e salamandras a pellets, gás natura e gásóleo mativeram-se menores que 3 ppm.

O CO apresentou valores a cima dos níveis de concentração de 9 ppm, permitidos segundo a Portaria n.º 353-A/2013, para ambientes interiores. Apenas em duas habitações sendo uma lareira aberta e uma fechada, o valor encontrado é extremamente prejudiciais à saúde (Sykes & Walker, 2016), atingindo níveis cerca de 80% mais elevados do que o recomendado ao bem-estar físico dos ocupantes dessas habitações.

#### 4.4 Avaliação da Influência dos Sistemas de Aquecimento na QAI

De modo a estabelecermos relações mais rigorosas entre as fontes de emissão domésticas, em particular os sistemas de aquecimento, e a QAI, parte dos resultados da secção anterior foram organizados de uma forma mais compacta como se ilustra na Figura 36, a qual apresenta a distribuição interquartil das concentrações PM<sub>2,5</sub>, CO e COV em função das várias tipologias de sistemas de aquecimento e respetivos combustíveis.

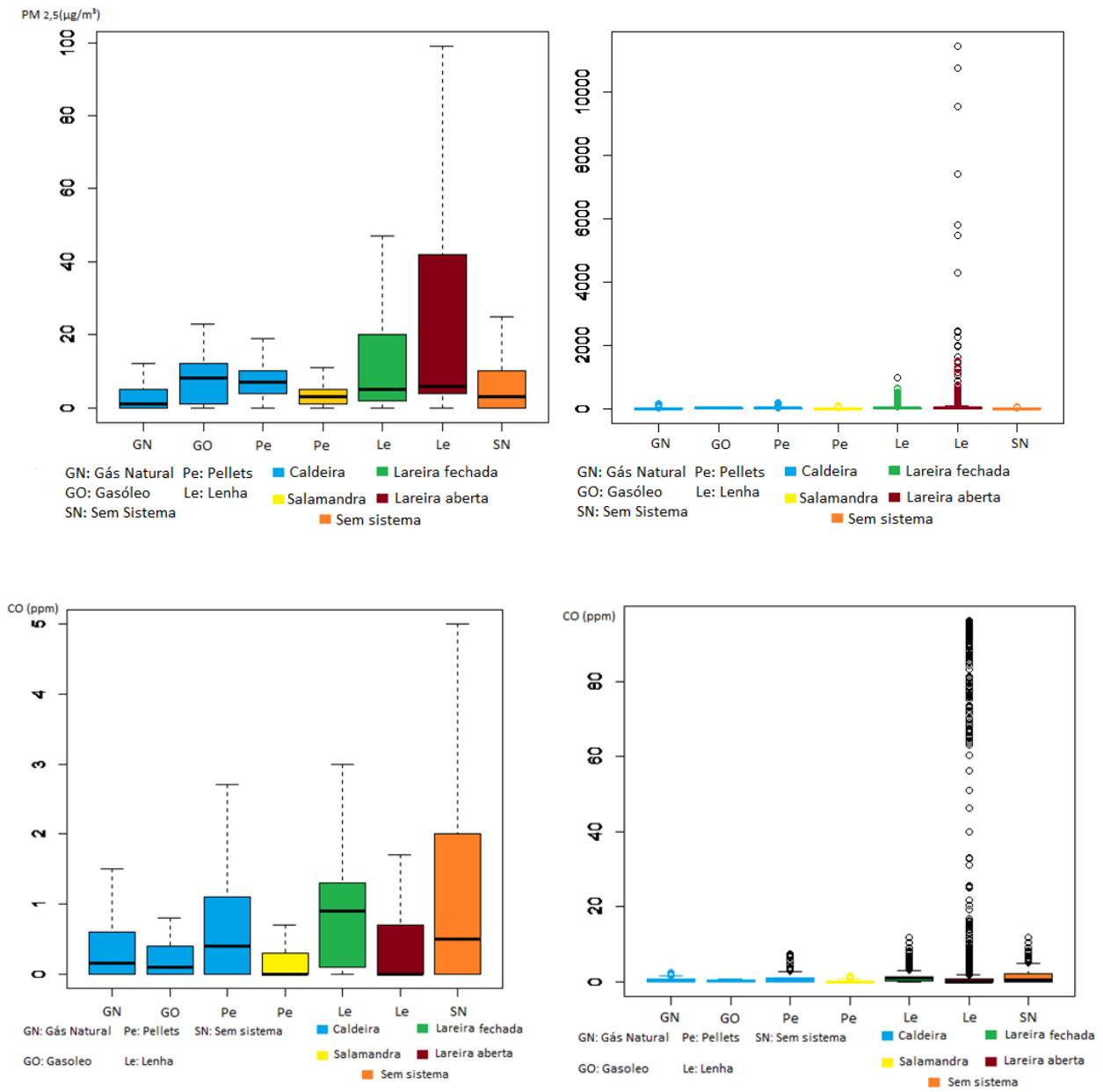


Figura 36- Concentrações medidas dos principais poluentes da QAI em todos os sistemas medido: (Esquerda) sem outlines.; (Direita) com outlines

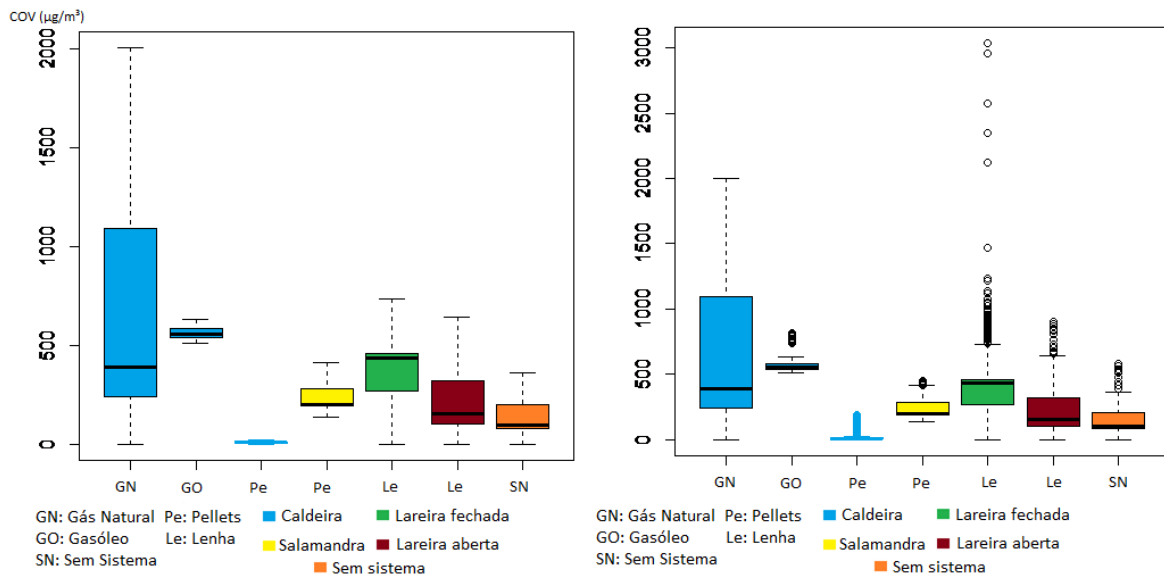


Figura 36- (Continuação) Concentrações medidas dos principais poluentes da QAI em todos os sistemas medido: (Esquerda) sem outliers.; (Direita) Com outliers

De um modo geral, as partículas  $PM_{2.5}$  atingiram concentrações médias horárias relativamente baixas em todas as habitações, excetuando-se naquelas com queima de lenha em lareiras fechadas e abertas. Os valores mais elevados de  $PM_{2.5}$ , superiores a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , foram observados nas habitações com lareiras abertas, seguidas pelas habitações equipadas com lareiras fechadas, com  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , habitações com caldeiras a gásóleo com valores próximos de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e as equipadas com caldeiras a pellets atingiram-se valores de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

As concentrações de COV atingiram os valores máximos nas habitações com caldeiras a gás natural com extremos superiores a  $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , seguidos pelas habitações com lareiras fechadas  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e de seguida as equipadas com lareiras abertas  $550 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Se desconsiderados os outliers os valores mais elevados de CO foram registrados em habitações sem sistemas de aquecimento com uma concentração de 5 ppm, enquanto em lareiras fechadas e caldeiras a pellets se registaram valores de aproximadamente 3 ppm. Porém, considerando os outliers as habitações com lareiras abertas tenderam a apresentar níveis mais elevados de CO, cerca de 80 ppm, como seria de certa forma expectável.

Os limites especificados pela Portaria foram ultrapassados nos dois sistemas que faziam o uso da biomassa lenhosa, a lareira aberta e fechada para PM<sub>2,5</sub>. Relativamente a COVT, os valores limite foram ultrapassados apenas para caldeiras a gás natural e para o CO somente em lareiras abertas se atingiu valores máximo acima do estabelecido na legislação.

De um modo geral, apenas em residências com sistemas alimentados a lenha apresentaram valores extremamente elevados para alguns parâmetros de QAI, indicando que a queima da biomassa lenhosa pode gerar altas concentrações de PM<sub>2,5</sub> e de outros contaminantes, como reportado por outros autores (Salthammer,2014).

Os elevados níveis relacionados com a concentração de COVT nas caldeiras devem estar relacionados, em parte, com a presença e/ou o uso de produtos de limpeza ou ambientadores nos locais das medições. Numa das habitações antes da medição houve a queima de incensos o que contribuiu para um registo de concentrações elevadas de COVT.

Foi ainda realizado para a análise dos resultados uma ANOVA e o Teste de Tukey, sendo o valor de *p* do teste de Tukey uma medida da significância das diferenças encontradas para, neste caso, cada um dos sistemas de aquecimento, dado o valor de 0,001 indica que há diferenças entre os valores com uma certeza de pelo menos 99,9%, e letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas entre os sistemas de aquecimento para o respetivo parâmetro, como pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7- ANOVA e Teste de Tukey

Parâmetro	Gás natural (n = 4865)	Pellets (n = 5479)	Lenha (Lareira fechada) (n = 2848)	Sem sistema de aquecimento (n = 2855)	Lenha (Lareira aberta) (n = 2494)	Gasóleo (n = 302)	Teste de Tukey Valor de <i>p</i>
PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	6±17 b	10±17 b	41±55 a	10±14 b	59±457 a	8±7 b	<0,001
COV (µg/m <sup>3</sup> )	664±503 a	365±115 c	345±203 c	141±80 e	257±228 d	599±99 b	<0,001
CO <sub>2</sub> (ppm)	926±364 b	858±331 c	737±334 d	1332±649 a	653±241 e	565±117 f	<0,001
CO (ppm)	0,4±0,5 b	0,5±0,7 b	4±15 a	0,7±0,8 b	4±16 a	0,3±0,3 b	<0,001

Através das análises obtidas na Tabela 7, pode observar-se que para PM<sub>2,5</sub> as lareiras abertas e lareiras fechadas apresentaram as médias mais elevadas, de

respetivamente 41 e 59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , não apresentando todavia diferenças significativas. Os demais sistemas diferiram significativamente das lareiras em termos de emissões de material particulado  $\text{PM}_{2,5}$ . Comportamento idêntico foi observado para o CO.

Para as concentrações de COVT, os sistemas apresentaram maiores diferenças entre eles, havendo semelhança apenas para lareiras fechadas e sistemas a pellets, porém como dito anteriormente este poluente esteve mais relacionado com fatores externos como utilização de produtos de limpeza e incensos, do que com o próprio sistema de aquecimento. Já para  $\text{CO}_2$  todos os sistemas apresentaram diferenças significativas entre si, sendo a maior concentração para habitações sem sistemas de aquecimento com valores médios de 1332 ppm.

A média encontrada para  $\text{PM}_{2,5}$  foi de aproximadamente o dobro da registada para outro estudo realizado em Portugal (Ginja *et al.*, 2012), onde foram observados valores médios de 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Para as habitações sem sistemas foi observado uma emissão de  $\text{PM}_{2,5}$  com os mesmos valores para as que utilizavam pellets, o que pode ser explicado pela influência de fatores externos como o fumo, uma vez que nessas habitações, o ato de fumar era uma prática frequente, fator este que também colaborou para elevados níveis de  $\text{CO}_2$ , já que nas residências onde não havia sistemas de aquecimento as janelas estavam sempre fechadas, causando uma acumulação de poluentes.

## 5 MEDIDAS DE MELHORIA DE QAI

Este capítulo explana as principais medidas para a melhoria da qualidade do ar nas habitações, sendo estas: o controlo na fonte emissora, que se refere à eliminação, redução ou substituição da fonte emissora; a ventilação que diz respeito à diluição da concentração dos poluentes interiores; e, por fim, à purificação do ar, sendo esta importante na remoção de partículas e agentes microbianos.

### 5.1 Controlo da fonte emissora

O controlo eficaz na fonte consiste no desenvolvimento de estratégias que permitam eliminar as fontes pontuais de poluição ou reduzir as suas emissões. Há variadas fontes em habitações que podem ser controladas, ou substituídas como materiais utilizados para a construção, sistemas de aquecimento, determinados produtos utilizados na limpeza, o uso de exaustores durante a confeção de alimentos, e, ainda, alterar alguns hábitos como fumar no interior das habitações.

Na fase de construção podem ser tomadas medidas de controle como a utilização de materiais que não emitam poluentes, por exemplo substituir os prensados por madeira maciça, além de se preocupar com a eficiência energética e ventilação desses espaços.

Em sistemas de aquecimento do tipo lareira, aconselha-se instalar um recuperador de calor, para que melhore a eficiência do sistema e diminua a utilização da lenha, além disso evita que a emissão de poluentes seja diretamente para o interior da habitação.

A manutenção dos sistemas de ventilação e aquecimento contribui de forma eficiente para evitar a emissão de poluentes, através de vazamentos, tornando possível avaliar se há necessidade da substituição do equipamento que esteja em más condições de uso.

Em relação aos produtos de limpeza devem utilizar-se os menos agressivos, que utilizem componentes mais ecológicos. Para evitar a poluição por fumo o ideal seria não o fazer em espaços fechados e delimitar um ambiente na residência que seja mais adequado, onde haja uma boa ventilação.

O controlo na fonte certamente é uma medida de primordial importância, porém nem sempre é possível fazê-la, gerando a necessidade de medidas secundárias como a ventilação do ambiente.

## 5.2 Ventilação do ambiente como medida de melhoria da QAI

A ventilação nas habitações tem que ocorrer de forma que permita a diluição dos poluentes, seja por ventilação natural em locais em que são suficientes ou por ventilação mecânica.

A ventilação natural deve ser controlada para que o conforto térmico da habitação não seja prejudicado, e para que não haja um aumento no consumo energético, podendo ser está de um só de lado, cruzada ou por efeito de chaminé (Pinto,2007), como pode ser visto na Figura 37.

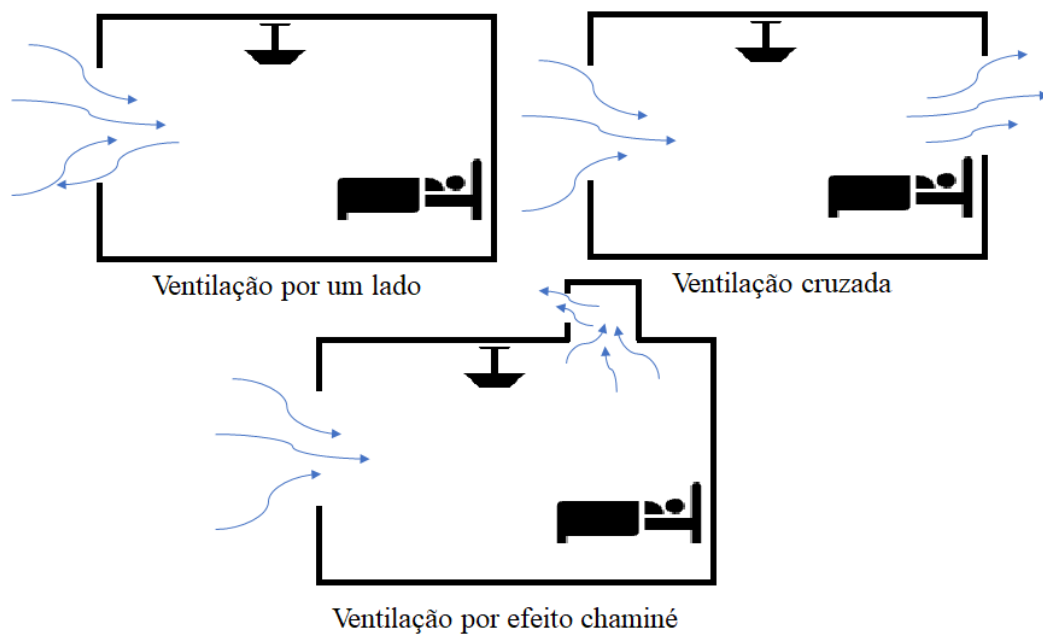


Figura 37- Ilustração dos tipos de ventilação

A ventilação por um lado apresenta uma abertura na qual ocorre a entrada do ar exterior e saída do ar interior, seu mecanismo de ventilação corresponde a diferenças térmicas entre o interior e o exterior permitem a renovação do ar (Larsen,2008).

Na ventilação cruzada tem-se aberturas em lados opostos do espaço, podendo ser uma porta ou uma janela, a tipologia da abertura não interfere no mecanismo, que consiste na transferência do fluxo de ar de uma extremidade à outra, não sendo necessário o alinhamento dessas aberturas. Caso haja barreiras no caminho (e.g mobiliário) a ventilação pode ser alterada, e conforme a incidência do fluxo do vento pode causar incômodos térmicos aos ocupantes da habitação.

A ventilação por efeito chaminé também conhecida por “stack ventilation”, utiliza-se do aquecimento por convecção, onde o ar quente por ser menos denso tende a subir e sair pela extremidade superior. Este tipo de ventilação sofre influência tanto do vento quanto de diferenças de temperatura, onde há tanto a ação mecânica do vento, quanto o diferencial de pressão provocado pelo gradiente de temperatura exterior e interior, sendo que o ar menos quente, pressiona o ar mais quente para cima escapando pela abertura superior e assim causando o arejamento do ambiente, sendo mais comuns em moradias (Rodrigues, 2013).

Para que estes tipos de ventilação sejam adequados é necessário que haja a renovação do ar ambiente, em alguns casos recomenda-se exaustores próximos às fontes poluidoras, para evitar a recirculação do ar contaminado.

Durante e após a utilização de aerossóis, incensos, velas é que recomendado que pelo menos durante um certo período as janelas estejam abertas, para que a ventilação natural ocorra. Após a utilização de produtos de limpeza também é recomendado que haja ventilação do espaço.

### 5.3 Purificação do ar

Os purificadores colaboram no controle dos níveis de poluentes, como partículas, agentes alergênicos e alguns gases.

Há diferentes tipos de tecnologias utilizadas para a purificação do ar. A filtração, com ou sem atração eletrostática, é eficaz na retenção de material particulado presente nos ambientes interiores. Os filtros estão presentes em aquecedores centrais e em ar condicionados, atuando na retenção de partículas e outros poluentes, sendo necessário haver sempre uma manutenção rigorosa desses sistemas para que não haja uma perda de

eficiência dos mesmos. A técnica da adsorção ou a de quimiossorção é também usada para capturar contaminantes gasosos e vapores, sendo eficiente também no controle da humidade, que pode gerar problemas de propagação de microrganismos no ambiente. Para os poluentes biológicos pode ser utilizada a tecnologia de irradiação germicida ultravioleta. Na Tabela 8 tem-se alguns purificadores e os poluentes por eles filtrados.

*Tabela 8-Purificadores e os poluentes filtrados*

Purificadores de Ar		Poluentes filtrados
Filtração	Filtros de Ar	Partículas
	Filtro de gás	Gás
Outros Purificadores	UVGI	Biológicos
	PCO	Gases
	Ozono	Partículas, gases e biológicos

Embora os purificadores possam ser eficazes na retenção de partículas e de poluentes gasosos, ainda assim pode haver risco para a saúde, se os mesmos não forem submetidos a uma manutenção periódica. A melhor forma de garantir uma boa QAI seria o controlo na fonte, porem como não é possível em todas as situações a utilização de purificadores pode ajudar a manter a uma melhor qualidade em ambientes interiores e pouco ventilados.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As construções do último meio século mais preocupadas com objetivos de poupança de energia e de conforto térmico, conduziram, em muitos casos, a situações críticas de qualidade do ar interior com exposição dos ocupantes a níveis elevados de contaminantes prejudiciais para a saúde para o bom desempenho das atividades nesses espaços.

Em regiões em que as temperaturas atingem valores baixos em alguma época do ano, como em Bragança, o recurso a fontes de calor é uma prática habitual para a melhoria das condições de conforto térmico por parte da população.

Desta forma, é de esperar que a poluição do ar interior se intensifique durante os meses de inverno com o uso frequente de uma das fontes mais proeminentes de poluição atmosférica (sistemas de combustão) em ambientes fechados.

O presente estudo envolveu a avaliação de alguns parâmetros de qualidade do ar interior em 25 habitações distintas e permitiu inferir que os sistemas de aquecimento exercem uma influência diferenciada nos níveis de alguns contaminantes do ar interior, em particular nos níveis da fração fina de material particulado ( $PM_{2,5}$ ) e nos níveis de monóxido de carbono. A queima de biomassa é uma prática ancestral e é culturalmente bem aceite pela população, mas requer cuidados especiais para que o ambiente interior não atinja níveis de contaminação prejudiciais para a saúde humana. De facto, foi em habitações com utilização de lareiras abertas e fechadas que os níveis de  $PM_{2,5}$  e de monóxido de carbono foram mais elevados e em muitos momentos estiveram acima dos níveis recomendados pela legislação. Os COV apresentaram maior relação com outras fontes poluentes como a utilização de produtos de limpeza, de ambientadores, queima de incenso e confeção de alimentos. Em habitações que não dispõem de sistemas mecânicos de ventilação e apresentam baixas taxas de infiltração de ar, como se verificou na maior parte das habitações da amostra deste estudo, é importante adotar rotinas diárias de ventilação natural através da abertura de janelas ou portas e, em particular, procurar ventilar um pouco os espaços nos momentos em que as principais fontes de contaminantes do ar estejam ativas. Em algumas situações, esta ação tem de ser bem ponderada porque o ar ambiente apresenta níveis de contaminação mais elevados.

No futuro é importante que engenheiros e arquitetos promovam a construção de habitações energeticamente eficientes e que assegurem naturalmente uma qualidade ambiental de excelência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, C. F. C. (2010). Capítulo 3: Qualidade do Ar Interior. O Ambiente Interior E a Saúde Dos Ocupantes de Edifícios de Habitação, 23–68. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10400.6/3579>
- Afshari A., Matson U. & Ekberg L.E., 2005. Characterization of indoor sources of fine and ultrafine particles: a study conducted in a full-scale chamber, *Indoor Air*, vol.15, pp. 141- 150
- Agência Portuguesa do Ambiente Laboratório Referência do Ambiente (2009). Qualidade do Ar em Espaços Interiores-Um Guia Técnico, 1–53.
- ASHRAE Standart 62.1. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, USA (2007).
- ASHRAE Standard 62-1989. Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta, GA, (1989).
- ASHRAE Standard 62.1, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA (2010).
- Baptista, F. M. (2011). Ventilação de Cozinhas Profissionais Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica. <https://core.ac.uk/download/pdf/19132713.pdf>
- Barbosa R., Vicente R. & Santos R., 2015. Climate change and thermal comfort in Southern Europe housing: A case study from Lisbon, *Building and Environment*, vol. 92, pp. 440- 451.
- Batista, C. Federal, U., & Fora, D. E. J. D. E. (2008). Poluição do ar de interiores: Uma avaliação de casos relacionados a climatização artificial. <http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/Carla-Alice-Theodoro-Batista.pdf>
- Brickus, L. S. R., & Neto, F. (2001). A qualidade do ar de interiores e a saúde pública. *Revista Brasileira de Toxicologia*, 14(1), 29–35. <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000100013>

- Cabral, Fernando e Roxo, Manuel M (2004). Organização dos Serviços de Prevenção e Protecção nas Empresas. In Cabral, Fernando (Coord) Segurança, Higiene e Saúde no Trabalho, (Cap. 5), Lisboa: Verlag Dashöfer
- CCDR (2014). Fontes e efeitos dos poluentes. *in*: O ar e os Poluentes Atmosféricos. [Http://www.ccdr-lvt.pt/pt/o-ar-e-os-poluentes-atmosfericos/8082.htm](http://www.ccdr-lvt.pt/pt/o-ar-e-os-poluentes-atmosfericos/8082.htm)
- Chatzidiakou, L., Mumovic, D., & Summerfield, A. (2015). Is CO<sub>2</sub> a good proxy for indoor air quality in classrooms? Part 1: The interrelationships between thermal conditions, CO<sub>2</sub> levels, ventilation rates and selected indoor pollutants. *Building Services Engineering Research and Technology*, 36(2), 129–161. <https://doi.org/10.1177/0143624414566244>
- Cipolla, M., Izzotti, A., Ansaldi, F., Durando, P., & Piccardo, M. T. (2017). Volatile organic compounds in anatomical pathology wards: Comparative and qualitative assessment of indoor airborne pollution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6), 1–9. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060609>
- Coelho, R. (2015). Qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e sua relação com os materiais de construção e as atividades humanas. [http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_9433Tese\\_Erica\\_Pagel\\_Texto\\_Completo.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_9433Tese_Erica_Pagel_Texto_Completo.pdf)
- Coentro, S. R. C. (2015). Qualidade do Ar Interior em Habitações: Fontes Emissoras de Poluentes. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciência e Tecnologia- Universidade Nova de Lisboa – UN, Lisboa, Portugal. Recuperado de [https://run.unl.pt/bitstream/10362/17472/1/Coentro\\_2015.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/17472/1/Coentro_2015.pdf)
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, que transpõe parcialmente a Diretiva 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativo à definição de padrões de qualidade energético-ambiental da construção, e que aprova o Regulamento das Características de Conforto Térmico dos Edifícios (RCCTE). *Diário da República*. 1ª Série (A), N.º 173. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.
- Decisão 91/565/CEE, do Conselho, de 29 de Outubro de 1991, relativa à promoção do rendimento energético na Comunidade, estabelecendo o programa Save

(Ações específicas destinadas à obtenção de um alto rendimento energético). Jornal Oficial das Comunidades Europeias. N.º L 307 (08/11/1991), 34-36.

Decreto-lei n.º 156/92, de 27 de Julho, revogado pelo Decreto-lei n.º 118/98, de 7 de Maio, relativo às regras a observar no dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização em edifícios e as condições a observar nos mesmos. Diário da República. 1ª Série (A), N.º 173. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, que transpõe parcialmente a Diretiva 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativo ao desempenho energético e qualidade do ar interior em edifícios, e que aprova o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE). Diário da República. 1ª Série (A), N.º 67. Ministério da Economia e da Inovação.

Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, que transpõe parcialmente a Diretiva 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativo à definição de padrões de qualidade energético-ambiental da construção, e que aprova o Regulamento das Características de Conforto Térmico dos Edifícios (RCCTE). Diário da República. 1ª Série (A), N.º 173. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações..

Diretiva 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Jornal Oficial da União Europeia. N.º L 153 (18/06/2010), 13-35

EPA, U. (2008). Care for your Air: A Guide to Indoor Air Quality, (September). Retrieved from <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/care-your-air-guide-indoor-air-quality>

Fernandes, U., Costa M., (2011) “Particle emissions from a domestic pellets-fired boiler”, Fuel Processing Technology, doi:10.1016/j.fuproc.2011.08.020.

Ferreira, M. C. C. (2012). Consumo Doméstico de Biomassa Lenhosa e Emissões Atmosféricas na Cidade de Bragança. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior Agrária de Bragança- Instituto Politécnico de Bragança - IPB,

- Bragança, Portugal. Recuperado de <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/7893/1/Disserta%C3%A7...pdf>.
- Gao J., Yating Jian, Changsheng Cao, Lei Chen & Zhang Xu, 2015. Indoor Emission, Dispersion and Exposure of Total Particle-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons during Cooking, Atmospheric Environment, vol. 120, pp. 191-199.
- Garcia, D. P., Caraschi, J. C., Ventorim, G. (2013). Caracterização Energética de Pellets de Madeira. Revista da Madeira, 24(135), 14-16.
- Genaro, G., Dambruoso, P. R., Di Gilio, A., Di Palma, V., Marzocca, A., Tutino, M. (2016). Discontinuous and Continuous Indoor Air Quality Monitoring in Homes with Fireplaces or Wood Stoves as Heating System. International Journal of Environmental Research Public Health, 13(78), 2-9. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph13010078>.
- Ginja, J., Borrego, C., Coutinho, M., Nunes, C., & Morais-Almeida, M. (2012). Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas. Congress of Innovation on Sustainable Construction, 1–10.
- Gonçalves, A.J.; Ribeiro, A.C.; Maia, F. & Feliciano, M. (2014) – Análise do Clima Urbano da Cidade de Bragança. Instituto Politécnico de Bragança.
- Gonçalves, L. P. (2008). Impacto da Combustão Doméstica na Qualidade do Ar. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal. Recuperado de <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/587/1/2009000520.pdf>.
- Greater London Authority. Air Quality In City Of London: A Guide For Public Health Professionals. Greater London Authority: London, 2012. Recuperado de [https://www.london.gov.uk/sites/default/files/air\\_quality\\_for\\_public\\_health\\_professionals\\_-\\_city\\_of\\_london.pdf](https://www.london.gov.uk/sites/default/files/air_quality_for_public_health_professionals_-_city_of_london.pdf).
- Grinshpun, S.A., Coombs, K.C.; Chew, G.L.; Schaffer, C.; Ryan, P.H.; Brokamp, C.; Adamkiewicz, G.; Chillrud, S.; Hedman, C.; Colton, M.; et al. Indoor air quality in green-renovated vs. non-green low-income homes of children living in a temperate region of U.S. (Ohio). Sci. Total Environ. 2016

- Guarieiro, L. L. N., Vasconcellos, P. C., & Solci, C. (2011). Artigo Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão Air Pollutants from the Burning of Fossil Fuels and Biofuels : A Brief Review Resumo Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combust, 3(5), 434–445. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20110047>
- Gubán, M., & Kovács, G. (2017). – Considerations on obtaining biomass pellets. Acta technica corviniensis- Bulletin of Engineering. Recuperado: <http://acta.fih.upt.ro/pdf/archive/ACTA-2018-4.pdf>
- IEA (2015). Nordic energy technology perspectives: pathways to a carbon neutral energy future. Paris: International Energy Agency ([http://energiorekund.org/pic\\_m/23\\_verdi\\_182\\_Nordic-Energy-Technology-](http://energiorekund.org/pic_m/23_verdi_182_Nordic-Energy-Technology-)
- INE, 2012. Censos de 2012, Instituto Nacional de Estatística.
- Infante, A. C. R. (2016). Instituto Politécnico de Viseu Instituto Politécnico de Viseu Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.
- ISO 7708:1995 Air quality—particle size fraction definitions for health-related sampling. International Organization for Standardization, 1995
- Jacob, J. (1997). Bragança (Primeira e). Bragança: 1993.
- Jardim, D., Diegues, P., Santiago, A., Matias, P., Reis, V., Matos, J., Francisco, S. (2015). Metodologia de avaliação da qualidade do ar interior em edifícios de comércio e serviços no âmbito da Portaria 353-A / 2013, 1–25.
- Jones A., 1999. Indoor air quality and health, Atmospheric Environment, vol. 33, pp. 4535- 4564.
- Kabir, E., & Kim, K. (2011). An investigation on hazardous and odorous pollutant emission during cooking activities. Journal of Hazardous Materials, 188(1–3), 443–454. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.113>
- Karimatu L.A., Delgado-Saborit J. & Harrison R., 2013. Emissions and indoor concentrations of particulate matter and its specific chemical components from cooking: a review, Atmospheric Environment, vol.7, pp. 260-294.

- Larsen T.S. & Heiselberg P., 2008. Single-sided natural ventilation driven by wind pressure and temperature difference. *Energy and Buildings*, vol.40, pp. 1031-1040.
- Lee, K., Park, E. (2002). Residential Air Quality in Wood Burning Houses in Costa Rica. *Proceedings: Indoor Air 2002*. Recuperado de <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB7510.pdf>.
- Lee, S., & Wang, B. (2004). Characteristics of emissions of air pollutants from burning of incense in a large environmental chamber, 38, 941–951. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.11.002>
- Lei, Z., Liu, C., Wang, L., & Li, N. (2017). Effect of natural ventilation on indoor air quality and thermal comfort in dormitory during winter. *Building and Environment*, 125, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.051>
- Leite, Luiz H.S; NETO, Turibio Gomes Soares. Concentrações das espécies químicas liberadas durante a combustão de biomassa. *cnpq*, São Paulo, p. 10-11, jul. 2012. Disponível em: <<http://mtcm16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm19/2012/09.26.12.19.51/doc/Luiz%20Henrique%20Scavacini%20Leite.pdf?metadatarpository=&mirror=sid.inpe.br/mtcm19@80/2009/08.21.17.02.53>>. Acesso em: 06 out. 2018.
- Madeira, J. P. R. (2011). *Formação e Emissão de Partículas numa Caldeira Doméstica Alimentada com Pellets*. (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior Técnico- Universidade Técnica de Lisboa – UTL, Lisboa, Portugal.
- Maga, M., Janik, M. K., Wachsmann, A., Chrzastek-Janik, O., Koziej, M., Bajkowski(2017). Influence of air pollution on exhaled carbon monoxide levels in smokers and non- smokers. A prospective cross-sectional study. *Environmental Research*, 152(October 2016), 496–502.<https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.004>
- Magalhães, T. I. A. F., & Peixoto, E. S. (2014). *Avaliação da Qualidade do Ar Interior de Ginásios*.
- Mandayo, G. G., Gonzalez, C. J., Hammes, E., Newton, H., Hurtado, I. C., Ayerdi, I., Knapp, H., Sweetman, A., Hewitt, C. N, Castano, E. (2015). System to control

- indoor air quality in energy efficient buildings. *Urban Climate* 14(3), 475–485. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.10.009>.
- Manoukian A., Quivet E., Temime-Roussel B., Nicolas M., Maupetit F. & Wortham H., 2013. Emission characteristics of air pollutants from incense and candle burning in indoor atmospheres, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), France, pp. 4659–4670.
- McDonald, J.D., B. Zielinska, E.M., Fujita, J.C., Sagebiel, J.C., Chow, J.G., Watson, (2000), Fine particle and gaseous emission rates from residential wood combustion, *Environmental Science and Technology* 34, 2080–2091
- Merlin, L. (2018, junho 25). Tudo o que precisa saber sobre salamandras. Recuperado de <http://www.leroymerlin.pt/Site/Fazer-e-facil/Tutoriais/Tudo-o-que-precisa-saber-sobre-salamandras.aspx>.
- Missia, D. A., Demetriou, E., Michael, N., Tolis, E. I., & Bartzis, J. G. (2010). Indoor exposure from building materials: A field study. *Atmospheric Environment*, 44(35), 4388–4395. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.049>
- Moraes, A. P. de. (2006). Qualidade do ar interno com ênfase na concentração de aerodispersóides nos edifícios, 161. Retrieved from [www.teses.usp.br/.../AlexandrePerrideMoraesdissertacaoedrevisada.pdf](http://www.teses.usp.br/.../AlexandrePerrideMoraesdissertacaoedrevisada.pdf)
- Organização Mundial da saúde. (2010). OMS guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Bonn, Germany: In Puncto Druck+ Medien GmbH, 484. <https://doi.org/10.1186/2041-1480-2-S2-I1>
- Parajuli, I., Lee, H., Shrestha, K. R. (2016). Indoor Air Quality and ventilation assessment of rural mountainous households of Nepal. *International Journal of Sustainable Built Environment* 5, 301–311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.08.003>.
- Peeters L., Dear R., Hensen J. & D’haeseleer W., 2009. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation, *Applied Energy*, vol.86, pp. 772-780.
- Pegas P.N., Alves C.A., Evtugina M.G., Nunes T., Cerqueira M., Franchi M., Pio C.A., Almeida S.M. & Freitas M.C., 2011. Indoor air quality in

- elementary schools of Lisbon in Spring, *Environ Geochem Health*, vol. 33, pp. 455-468.
- Pereira, T. C., Silva, R., Amaro, A., Seabra, T., Pina, A., Borges, M., & Canaveira, P. (2017). Emissões de Poluentes Atmosféricos por Concelho, 42
- Petry T., Vitale D., Joachimc Fred J., Smithd B., Crusee L., Mascarenhasf R., Schneiderg S. & Singal M., 2014. Human health risk evaluation of selected VOC, SVOC and particulate emissions from scented candles, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 69, pp. 55-70.
- Pinto, M., *Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação*. Tese de Doutoramento Submetida à FEUP, 2009.
- Portaria n.353-A, de 04 de dezembro de 2013. Estabelece os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação. Recuperado de <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/331868/details/maximized>.
- Prado, A. Carmo, R.T.A. (1999). *Qualidade do ar interno São Paulo*: EPUSP, 1999. 35p. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/23. Recuperado: <http://saudeetrabalho.com.br/download/qualidade-ar-interno.pdf>
- Public Health England (PHE). (2017). *Particulate Matter At a glance Particulate Matter (PM)*, (August 2017), 1–6.
- Quintela D., 2009. *Condições de trabalho em cozinhas profissionais – Avaliar e melhorar*, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologias de Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Rabaçal, M. E. R. F. (2010). *Influência das características do combustível no desempenho energético e ambiental de caldeiras domésticas*. (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior Técnico- Universidade Técnica de Lisboa – UTL, Lisboa, Portugal. Recuperado de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395140842798/dissertacao.pdf>.

- Rodrigues, A. (2013). Avaliação da qualidade do ar a longo prazo da cidade de Lisboa, 107. Retrieved from <http://run.unl.pt/handle/10362/9937>
- Rodrigues, F. J. M. (2013). Avaliação da Qualidade do Ar Interior em Salas de Aulas sem Sistema AVAC. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior Agraria de Bragança- Instituto Politécnico de Bragança - IPB, Bragança, Portugal.
- Rumchev, K., Zhao, Y., & Spickett, J. (2017). Health risk assessment of indoor air quality, socioeconomic and house characteristics on respiratory health among women and children of Tirupur, South India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph14040429>
- Salthammer, T. (2011). Critical evaluation of approaches in setting indoor air quality guidelines and reference values. *Chemosphere*, 82(11), 1507–1517. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.11.023>
- Salthammer, T., Schripp, T., Wientzek, S., & Wensing, M. (2014). Impact of operating wood-burning fireplace ovens on indoor air quality. *Chemosphere*, 103, 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.067>
- Santos, J. C. (2010). Avaliação da Qualidade do Ar Interior em Jardins-de-Infância. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia-FEUP, Universidade do Porto, Porto, Portugal. Recuperado de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58949/1/000144993.pdf>.
- Schirmer, W. N., Pian, L. B., Szymanski, M. S. E., & Gauer, M. A. (2011). A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16(8), 3583–3590. <https://doi.org/10.1590/S141381232011000900026>
- Silva, J. R. C. (2017). Controlador de Caldeiras e Salamandras Domésticas. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Tecnologia e Gestão-Instituto Politécnico de Leiria-IPL, Leiria, Portugal. Recuperado de <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/2631/1/Projeto%20-%20MEE%20-%20Jo%C3%A3o%20Ricardo%20Silva.pdf>.
- Slezakova et al, 2012. K. Slezakova, S. Morais e M. C. Pereira, “Air Pollution: Particulate Matter” in *Encyclopedia of Environmental Management* (Ed.

- S. E. Jorgensen), ISBN 1-4398-2927-6, Taylor and Francis Group LLC (T&F), CRC Press, Boca Raton (USA) (2013), pp. 1-15. DOI:10.1081/E-EEM-120 047 689.
- Steinemann, A. C. (2009). Fragranced consumer products and undisclosed ingredients. *Environmental Impact Assessment Review*, 29(1), 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2008.05.002>
- Sykes, O. T., & Walker, E. (2016). The neurotoxicology of carbon monoxide - Historical perspective and review. *Cortex*, 74, 440–448. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2015.07.033>
- Teixeira, J., Nogueira, S., Mendes, A., Pinto, A., & Paixão, P. (2012). Ventilação , qualidade do ar e saúde em creches e infantários resultados preliminares do projeto ENVIRH. Recuperado: <https://core.ac.uk/download/pdf/70639650.pdf>
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2014). Air Pollution: World’s Worst Environmental Health Risk. *UNEP Year Book 2014 Emerging Issues Update, Air Qualit*, 43–47. Retrieved from <http://www.unep.org/yearbook/2014/PDF/chapt7.pdf>
- Wei W., Boumier J., Wyart G., Ramalho O. & Mandin C., 2015. Cleaning practices and cleaning products in nurseries and schools: to what extent can they impact indoor air quality? *Indoor Air*, doi:10.1111/ina.12236.
- Weichenthal, S., Dufresne, A., Infante-rivard, C., & Joseph, L. (2007). Indoor ultrafine particle exposures and home heating systems: A cross-sectional survey of Canadian homes during the winter months, 288-297. <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500534>
- Weschler, C. J. (2000). Ozone in indoor environments: concentration and chemistry. *Indoor Air*, 10(4), 269–288. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004269.x>
- Williams A., Jones J.M., Ma L., Pourkashanian M., 2012. Pollutants from the combustion of solid biomass fuels. *Prog. Energy Combust. Sci.*, 38:113-137.
- Wolkoff, P., Clausen P. A., Jensen, B., Nielsen, G. D., Wilkins, C. K. (1997). Are we measuring the relevant indoor pollutants? *Indoor Air*. 7, 92–106. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1997.t01-2-00003.x>

- Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health. Doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00513-6
- Yu-Pin K., Yang K.R., Chi Chen Y., Você Gong J., Chen Ping Y., Hui-Chi Shih & Shih-Chun Candice Lung, 2015. Indoor air pollution from gas cooking in five Taiwanese families, *Building and Environment*, vol.93. pp. 258-266.
- Zhang et al. Effects of biomass pellet composition on the thermal and emissions performances of a TLUD cooking stove. *International Journal Of Agricultural And Biological Engineering*, [s.l.], v. 10, n. 4, p.189-197, 2017. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering (IJABE)*. <http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20171004.2963>.

## ANEXO I



# Qualidade do ar interior em habitações com diferentes sistemas de aquecimento

## Questionário

*Este questionário tem por objetivo recolher informação relevante para o estudo de qualidade do ar interior em habitações realizado no âmbito de uma tese de Mestrado em Tecnologia Ambiental, do Instituto Politécnico de Bragança, intitulada Qualidade do ar interior em habitações com diferentes sistemas de aquecimento. Os dados recolhidos destinam-se exclusivamente a fins académicos, sendo garantida a sua confidencialidade.*

## I. DADOS PESSOAIS DO INQUIRIDO

1. Sexo:  F  M
2. Idade: \_\_\_\_\_
3. Habilitações académicas: \_\_\_\_\_

## II. CARACTERIZAÇÃO DA HABITAÇÃO

1. Localização: Freguesia: \_\_\_\_\_  
Rua: \_\_\_\_\_ Andar: \_\_\_\_\_
2. Tipo de Habitação: Apartamento  Moradia  (Geminada  em Banda  Isolada )
3. Número médio de ocupantes da habitação: \_\_\_\_\_
4. Período médio que os ocupantes passam na habitação por dia: \_\_\_\_\_
5. Área útil total da habitação (m<sup>2</sup>): \_\_\_\_\_
6. Número de pisos da habitação: \_\_\_\_\_; Altura de cada piso (m): \_\_\_\_\_
7. Número de divisões da habitação: Cozinhas \_\_\_\_\_ Salas \_\_\_\_\_ Quartos \_\_\_\_\_ Casas de Banho \_\_\_\_\_ Halls \_\_\_\_\_ Corredores \_\_\_\_\_ Outras (Quais?/nº) \_\_\_\_\_
8. Existem garagens anexas à zona habitada: Não  Sim
9. Número de janelas/portas exteriores na habitação: Cozinhas \_\_\_\_\_ Salas \_\_\_\_\_ Quartos \_\_\_\_\_ Casas de Banho \_\_\_\_\_ Halls \_\_\_\_\_ Corredores \_\_\_\_\_ Outras (Quais?/nº) \_\_\_\_\_
10. Número de fachadas da habitação: \_\_\_\_\_
11. Orientação solar da fachada principal: \_\_\_\_\_
12. Ano de construção do imóvel: \_\_\_\_\_ Ano de remodelação do imóvel: \_\_\_\_\_
13. Características das paredes exteriores da habitação:  
Paredes simples  Paredes duplas  Sem isolamento térmico  Com isolamento térmico
14. Tipo de Janelas: Fixas  Abertura Normal  Deslizantes  Basculantes
15. Tipo de vidros: Simples  Duplos
16. Caixilharia: caixilharia com corte térmico  caixilharia sem corte térmico
17. Caixas de estores isotérmicas: Não  Sim



## Qualidade do ar interior em habitações com diferentes sistemas de aquecimento

### *Questionário*

- 
18. Planta do piso da habitação: desenhar um esboço da planta do piso principal da habitação ou disponibilizar a planta do mesmo (indicar portas e janelas).



# Qualidade do ar interior em habitações com diferentes sistemas de aquecimento

## Questionário

### III. SISTEMA DE AQUECIMENTO, VENTILAÇÃO, AR CONDICIONADO

#### 1. Tipo de Energia

Biomassa (lenha  | pellets  Gás Natural  Gás Butano  Gasóleo   
Eletricidade  Solar Térmico  Fotovoltaico  Outras (Qual?) \_\_\_\_\_

#### 2. Tipologia do Sistema de Aquecimento

Lareira (com recuperador  sem recuperador  Caldeira  Salamandra  Ar condicionado   
Bomba de calor  Termoventilador/convectores  Outros (Quais?) \_\_\_\_\_

#### 3. Período de funcionamento do Sistema de Aquecimento

Sistema 1	Mês
_____	J   F   M   A   M   J   J   A   S   O   N   D
_____	Dias da semana
Aquecimento Central:	D   S   T   Q   Q   S   S
Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	Horas do dia
	1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   11   12
	13   14   15   16   17   18   19   20   21   22   23   24

Sistema 2	Mês
_____	J   F   M   A   M   J   J   A   S   O   N   D
_____	Dias da semana
Aquecimento Central:	D   S   T   Q   Q   S   S
Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>	Horas do dia
	1   2   3   4   5   6   7   8   9   10   11   12
	13   14   15   16   17   18   19   20   21   22   23   24

4. Aquecimento com regulação automática: Não  Sim  Termostato externo: Não  Sim

Temperatura de Controlo: \_\_\_\_\_

5. Sistema mecânico de insuflação de ar novo na habitação: Não  Sim

6. Sistema mecânico de exaustão na habitação: Não  Sim

Se sim, onde? cozinha  casa de banho  outras  (quais?) \_\_\_\_\_

7. Abertura de janelas/portas exteriores: Não  Sim

Se sim, qual a frequência? n° vezes/dia \_\_\_\_\_ n° vezes/semana \_\_\_\_\_ n° vezes/mês \_\_\_\_\_ n° vezes/ano \_\_\_\_\_

Se sim, qual a duração média das aberturas? \_\_\_\_\_



## Qualidade do ar interior em habitações com diferentes sistemas de aquecimento

### Questionário

#### 8. Consumos médios de energia

	Eletricidade (kWh)	Gás natural (m <sup>3</sup> ou kWh)	Gasóleo (m <sup>3</sup> )	Pellets (t)	Lenha (t)	Outro (Qual?)
Janeiro						
Fevereiro						
Março						
Abril						
Mai						
Junho						
Julho						
Agosto						
Setembro						
Outubro						
Novembro						
Dezembro						
Global						

## IV. LIMPEZA DA HABITAÇÃO, COCÇÃO DE ALIMENTOS E OUTROS

#### 1. Limpeza da habitação:

Aspiração e espanamento: Sim  Freqüência: \_\_\_\_\_

Utilização de produtos líquidos: Sim  Freqüência: \_\_\_\_\_

Utilização de sprays (ambientadores ou cosméticos): Sim  Freqüência: \_\_\_\_\_

Utilização de queima de velas ou de incenso: Sim  Freqüência: \_\_\_\_\_

Têxteis expostos na habitação: Alcatifas  Tapetes  Cortinados  Outros (Quais?) \_\_\_\_\_

#### 2. Cocção de Alimentos: Sim Freqüência: \_\_\_\_\_

Fonte de energia utilizada: Biomassa (lenha  | pellets  Gás Natural  Gás Butano

Eletricidade  Outros (Quais?) \_\_\_\_\_

Tipo(s) de Sistema(s) Utilizado(s): Fogão  Forno  Lareira  Grelhador  Outros  (Quais?) \_\_\_\_\_

#### 3. Utilização de secadores de roupa: Sim Qual a freqüência e tempo de utilização: \_\_\_\_\_



## Qualidade do ar interior em habitações com diferentes sistemas de aquecimento

### Questionário

#### V. INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR

1. Algum dos residentes/ocupantes é fumador? Não  Sim  Quantos? \_\_\_\_\_
2. Algum dos residentes sofre de doenças respiratórias? Não  Sim  Quantos? \_\_\_\_\_
3. Perceção relativa à qualidade do ar interior e ar ambiente (exterior):  
Presença de odores agradáveis: Sim  (Interior  Exterior  Ambas   
Presença de odores desagradáveis: Sim  (Interior  Exterior  Ambas   
Presença de poeiras ou fumos: Sim  (Interior  Exterior  Ambas   
Presença de manchas de humidade nas paredes: Sim  (Interior  Exterior  Ambas   
Crescimento visível de fungos: Sim  (Interior  Exterior  Ambas   
Como classifica globalmente a qualidade do ar interior da sua habitação?  
Má  Fraca  Média  Boa  Muito Boa   
Como classifica globalmente a qualidade do ar ambiente (exterior) da sua habitação?  
Má  Fraca  Média  Boa  Muito Boa
4. Perceção relativa ao conforto térmico no interior da habitação?  
Muito frio  Frio  Confortável  quente  Muito quente
5. Considera o seu sistema de aquecimento uma escolha acertada? Não  Sim
6. Estaria disposto a investir num sistema energeticamente mais eficiente e com emissões mais baixas de poluentes atmosféricos? Não  Sim  Quanto (€)? \_\_\_\_\_

#### VI. CONDIÇÕES DURANTE O PERÍODO DE MEDIÇÃO

1. Locais de medição: Cozinha  Sala  Quarto  Casas de Banho  Hall  Outra (Qual?) \_\_\_\_\_
2. Área do compartimento (m<sup>2</sup>): \_\_\_\_\_
3. N<sup>o</sup> médio de ocupantes na habitação: \_\_\_\_\_
4. N<sup>o</sup> médio de ocupantes no compartimento onde se efetuou a medição: \_\_\_\_\_
5. Período de funcionamento do sistema de aquecimento: \_\_\_\_\_
6. Período de utilização de outras potenciais fontes de poluição do ar interior (e.g. cocção de alimentos, secador de roupa, outros): \_\_\_\_\_
7. Arejamento da habitação: Não  Sim   
Se sim, como foi efetuada (e.g. abertura de janelas) \_\_\_\_\_  
Se sim, qual a frequência? \_\_\_\_\_ e durante quanto tempo? \_\_\_\_\_
8. Perceção relativa à qualidade do ar interior e ar ambiente (exterior):  
Presença de odores agradáveis: Sim  (Interior  Exterior  Ambas   
Presença de odores desagradáveis: Sim  (Interior  Exterior  Ambas

