

Caracterização das emissões de Sulfureto de Hidrogénio (H₂S) por placas de gesso cartonado em câmaras de teste

AUTOR

Sandro Borges da Mata

Licenciado pela FEUP em Engenharia Mecânica, Opção Energia Térmica

Dissertação do MIEM

ORIENTADOR

Professor Catedrático Eduardo Guimarães de Oliveira Fernandes
Docente do Departamento de Engenharia Mecânica, Secção de Fluidos e Calor
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

CO-ORIENTADORES

Professor Doutor Armando Manuel da Silva Santos

Doutora Gabriela Ventura Silva
Directora Técnica do Laboratório da Qualidade do Ar Interior (LQAI) do IDMEC



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho de 2011

Resumo

Em virtude da preocupação actual da sociedade com os problemas ambientais, com a saúde e bem-estar dos indivíduos, a comunidade científica tem dado grande importância à qualidade do ar interior nos edifícios não industriais, uma vez que está comprovada a relação existente entre a exposição a uma má qualidade do ar interior e as doenças, o absentismo e a fraca produtividade.

Entre os principais factores de poluição do ambiente interior incluem-se os materiais de construção e revestimentos dos edifícios, em particular como fontes de emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) e mesmo de formaldeído.

Desde há muito utilizado na construção de edifícios, o gesso tem tido uma crescente aplicação, nomeadamente na forma de placas de gesso cartonado, como revestimento dos espaços interiores. Estudos recentes têm demonstrado a emissão, ainda que em níveis variados, de compostos sulfurosos em algumas destas placas, nomeadamente de sulfureto de hidrogénio (H_2S). Assim, investigar as emissões de H_2S pelas placas de gesso cartonado é pertinente, visto que este gás é nocivo à saúde, apresenta um odor desagradável, podendo também provocar corrosão nos metais, causando danificações nos aparelhos eléctricos e electrónicos. No entanto, sendo recente a constatação dos problemas associados com a emissão de compostos sulfurosos por parte das placas de gesso cartonado, a informação disponível é ainda escassa.

O presente trabalho teve como objectivo central caracterizar as emissões de H_2S em placas de gesso cartonado em câmaras de teste, procurando-se também avaliar a sensibilidade aos parâmetros ambientais, nomeadamente à temperatura e, em particular, à humidade relativa do ar.

As actividades experimentais decorreram nas instalações do Laboratório da Qualidade do Ar Interior (LQAI) do Instituto de Engenharia Mecânica (IDMEC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Beneficiando-se do conhecimento e dos equipamentos existentes no LQAI, desenvolveram-se métodos experimentais que permitiram comprovar a emissão de H_2S pelas placas de gesso, embora em quantidades reduzidas, tendo sido possível quantificar os factores de emissão em dois dos ensaios efectuados.

No entanto serão necessários mais ensaios com diferentes placas de gesso cartonado no sentido de comprovar o método desenvolvido como um método credível e capaz de quantificar as emissões de H_2S .

Abstract

Due to the concern of the general public with environmental problems, health and well-being of individuals, the scientific community has given attention to the quality of indoor air in non-industrial buildings, as it is demonstrated the relationship between exposure to poor indoor air quality and illness, absenteeism and low productivity.

Recognized as one of the main causes of indoor air pollution, the building materials are important sources of emissions of volatile organic compounds (VOCs) and formaldehyde.

Long been used in building construction, the application of plaster has suffered an increase, particularly in the form of gypsum boards, as coating of interior spaces. Recent studies have demonstrated the existence of emissions of sulphur compounds by gypsum boards, including emissions of hydrogen sulphide (H₂S). The investigation of H₂S emissions by gypsum boards is important, since this gas is harmful to health, has an unpleasant odour and may also cause corrosion in metals, causing damage in electrical and electronic equipment. However the available information about this matter is still scarce, because it is a very recent problem.

The main objective of this study is the characterization of emissions of H₂S by gypsum board in test chambers, trying also assess the influence of environmental parameters, including temperature and, in particular, the relative humidity.

The experimental activities took place at the Laboratório da Qualidade do Ar Interior (LQAI) of Instituto de Engenharia Mecânica (IDMEC) from Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Benefiting from the knowledge and equipment available on LQAI, it was developed a experimental method to assess the H₂S emissions from gypsum boards. Although the low concentrations involved, it was possible to quantify the emissions factors of H₂S in two of these tests.

However further tests are needed with different samples of gypsum board in order to prove that the method developed is credible and capable of quantify the H₂S emissions.

Agradecimentos

De uma forma geral, gostaria de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram de alguma forma na realização da minha Tese de Mestrado, em particular:

Ao meu orientador, Professor Doutor Eduardo de Oliveira Fernandes, pelo apoio e a disponibilidade da instalação e equipamentos.

Ao meu co-orientador, professor Doutor Armando Manuel da Silva Santos, pela contribuição com seus conhecimentos teóricos e práticos, bem como o acompanhamento durante toda a tese.

À Doutora Gabriela Ventura Silva como minha co-orientadora e ao pessoal do LQAI, pela competência científica e acompanhamento do trabalho, pelo apoio nas realizações dos testes laboratoriais.

Ao Mestre Mário J. D. Guindeira pela disponibilidade e colaboração prestada no laboratório do fluido e calor de DEMEGI.

Aos meus colegas, em especial o Bernardo Semedo e Neli Paula Tomé, pelo apoio prestado convivência e amizade.

À minha namorada, Ruth Lena Tavares Frederico, pelo apoio incondicional durante este trabalho.

À minha família pelo apoio incondicional prestado no decorrer da realização desta dissertação.

Caracterização das emissões de Sulfureto de Hidrogénio (H₂S) por placas
de gesso cartonado em câmaras de teste

Índice

1	Introdução	1
1.1	Qualidade do ar interior e a saúde	2
1.2	Fontes de poluição do ar interior	3
1.3	Gesso	5
1.4	Placas de Gesso Cartonado	7
1.5	A presença do Sulfureto de Hidrogénio (H ₂ S) nas placas de gesso cartonado.....	9
1.6	Organização da Dissertação	12
2	Método utilizado na determinação do factor de emissão de H ₂ S	13
3	Trabalho Laboratorial	16
3.1	Material utilizado	16
3.2	Instalação Laboratorial	17
3.3	Testes preliminares	22
3.4	Ensaios realizados	23
3.5	Qualidade das Medições.....	25
4	Análise dos resultados	27
4.1	Resultados obtidos em condições de acumulação (sem ventilação)	27
4.2	Resultados obtidos sob a influência das variações da temperatura e humidade relativa	33
4.3	Resultados obtidos sob a influência de gradientes de humidade.....	36
4.4	Resultados obtidos sob condições constantes de humidade e de temperatura.....	40
4.5	Comparação dos Resultados obtidos nos diversos ensaios realizados	44
5	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	45
6	Bibliografia.....	46
7	ANEXO A: Valores contínuos da temperatura e humidade relativa dos dois ensaios das placas C e D.....	48
8	ANEXO B: Valores contínuos da temperatura e humidade relativa das duas fases de ensaio das placas C, D e E	49

Índice de Figuras

Figura 1.1 Famílias de ligantes de gesso e de produtos de gesso.	6
Figura 1.2 Processo de fabrico de placas de gesso (adapt. HARBEN, 1995).	8
Figura 1.3 Concentrações de H ₂ S produzidas pelos visitantes nas galarias.	10
Figura 3.1 Fotografia de uma placa em que se cobriu a base e as arestas com papel de alumínio e fita de alumínio adesiva.....	16
Figura 3.2 Representação esquemática da instalação	17
Figura 3.3 Câmara de teste	18
Figura 3.4 Definição de um espaço modelo pelo Comité Técnico CEN/TC 351.....	19
Figura 3.5 Borbulhador (a) na câmara frigorífica	20
Figura 3.6 Dispositivo TG-502 da <i>Gray Wolf</i>	21
Figura 3.7 Sistema de aquisição de dados.....	21
Figura 3.8 Representação esquemática do borbulhador (a) e (b) inseridos na instalação.	22
Figura 3.9 Representação esquemática de câmara sem ventilação.....	23
Figura 3.10 Representação esquemática de câmara com ventilação.....	23

Índice de Gráficos

Gráfico 4.1 Variação da Humidade Relativa e Temperatura em função do tempo durante os dois ensaios efectuados consecutivamente sob a mesma placa A.	27
Gráfico 4.2 Variação da Humidade Relativa e Temperatura em função do tempo durante os dois ensaios efectuados consecutivamente sob a mesma placa B.	28
Gráfico 4.3 Variação da concentração de H ₂ S (µg/m ³) em função do tempo observada para a placa A durante todo o tempo de acondicionamento e dos dois ensaios.	29
Gráfico 4.4 Variação da concentração de H ₂ S (µg/m ³) em função do tempo observada para a placa A durante o ensaio 1.	30
Gráfico 4.5 Variação da concentração de H ₂ S (µg/m ³) em função do tempo observada para a placa A durante o ensaio 2.	30
Gráfico 4.6 Variação das concentrações de H ₂ S em função do tempo para a placa B na câmara de teste.	31
Gráfico 4.7 Variação das concentrações de H ₂ S em função do tempo para a placa C na câmara de teste.....	31
Gráfico 4.8 Variação das concentrações de H ₂ S em função do tempo para a placa D na câmara de teste.....	32
Gráfico 4.9 Evolução da humidade relativa, temperatura e concentração de H ₂ S em função do tempo para a placa D sob condição a).	34
Gráfico 4.10 Evolução da humidade relativa, temperatura e concentração de H ₂ S em função do tempo para a placa D sob condição b).	34

Caracterização das emissões de Sulfureto de Hidrogénio (H₂S) por placas
de gesso cartonado em câmaras de teste

Gráfico 4.11 Evolução da humidade relativa, temperatura e concentração de H ₂ S em função do tempo para a placa D sob condição c).....	35
Gráfico 4.12 Variação da Humidade Relativa e Temperatura em função do tempo durante as duas fases de ensaio para a placa A.	36
Gráfico 4.13 Variação da Humidade Relativa e Temperatura em função do tempo durante as duas fases de ensaio para a placa B	36
Gráfico 4.14 Variação das concentrações de H ₂ S em função do tempo da placa A na câmara de teste.	37
Gráfico 4.15 Variação das concentrações de H ₂ S em função do tempo da placa B na câmara de teste.	38
Gráfico 4.16 Variação das concentrações de H ₂ S em função do tempo da placa C na câmara de teste.....	38
Gráfico 4.17 Variação das concentrações de H ₂ S em função do tempo da placa D na câmara de teste.....	38
Gráfico 4.18 Variação das concentrações de H ₂ S em função do tempo da placa C na câmara de teste.....	39
Gráfico 4.19 Evolução da humidade e da temperatura em função do tempo para a placa D.	40
Gráfico 4.20 Evolução da concentração de H ₂ S (µg/m ³) em função do tempo – placa D.....	41
Gráfico 4.21 Ajuste aos dados da concentração de H ₂ S (µg/m ³) após ser retirada a placa D.....	42
Gráfico 4.22 Evolução da humidade e da temperatura em função do tempo para a placa A.	42
Gráfico 4.23 Evolução da concentração de H ₂ S (µg/m ³) em função do tempo – placa A.....	43

Caracterização das emissões de Sulfureto de Hidrogénio (H₂S) por placas
de gesso cartonado em câmaras de teste

Índice de Tabelas

Tabela 1.1 Relação entre os parâmetros de contaminação, as suas possíveis fontes e as doenças [11].....	4
Tabela 1.2 Concentrações máximas dos parâmetros regulados pelo RSECE.	5
Tabela 1.3 Relação entre os parâmetros e as suas concentrações máximas [21]	11
Tabela 3.1 Áreas das amostras e as suas respectivas massas	16
Tabela 3.2 Parâmetros de ensaio da câmara de teste durante os ensaios às placas de gesso cartonado.....	24
Tabela 4.1 Temperaturas médias e os desvios-padrão da câmara de teste durante as diferentes fases dos ensaios às placas de gesso cartonado.	29
Tabela 4.2 Valores máximos da concentração de H ₂ S registados durante os ensaios das placas de gesso cartonado, parâmetros ambientais associados e tempo total para que a concentração decresça até zero.	32
Tabela 4.3 Temperaturas médias e os desvios-padrão da câmara de teste durante as diferentes fases dos ensaios às placas de gesso cartonado.	37
Tabela 4.4 Valores da concentração de H ₂ S para as placas A, B, C, D e E aos 250 minutos.....	39

Nomenclatura

A	Área do material (m^2)
C	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C_o	Concentração inicial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
C_∞	Concentração quando tende para equilíbrio
FE	Factor de emissão ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)
FE_o	Factor de emissão inicial ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)
k	Constante de emissão de 1ª ordem (h^{-1})
L	Factor de carga da câmara (m^2/m)
M	Massa (kg)
n	Taxa de renovação do ar da câmara (h^{-1})
Q	Caudal (m^3/h)
t	tempo (h)

Siglas

COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
CPSC	Consumer Products Safety Commission
DPCO	Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IDMEC	Instituto de Engenharia Mecânica
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LQAI	Laboratório da Qualidade do Ar Interior
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
SBS	Síndrome dos Edifícios Doentes

1 Introdução

A temática da qualidade do ar interior (QAI), nos dias que correm, é de extrema importância, visto que a permanência das pessoas nos espaços fechados ocorre numa percentagem elevada, cerca de 90%, e são reconhecidas as patologias associadas ao ambiente interior com uma má QAI.

Daí que os problemas relacionados com o ar interior dos edifícios justifiquem inspecções e análises, de forma a garantir os índices da qualidade do ar que respiramos nesses ambientes.

Com o desenvolvimento industrial, observa-se a utilização de novos processos de fabrico e de novos materiais na construção civil, entre outros a placa de gesso cartonado usada muitas vezes no interior dos edifícios. Estas placas apresentam algumas vantagens em relação ao tradicional tijolo e cimento, quanto às características desejadas para certas aplicações, tempo de aplicação inferior e ao preço.

É de referir que os materiais de construção usados no acabamento dos interiores são uma das principais fontes que influenciam a QAI. Os principais poluentes emitidos pelos materiais de construção são os compostos orgânicos voláteis e o formaldeído, razão pela qual estão estabelecidas normas para determinar as suas emissões e foram estabelecidos valores limite para uma série destes compostos.

No entanto, recentemente foi levantada a questão da emissão de sulfureto de hidrogénio (H₂S) pelas placas de gesso cartonado, na sequência de uma série de reclamações apresentadas nos EUA pela utilização de placas de gesso provenientes da China. A origem das emissões de H₂S estaria relacionada com a utilização de gesso sintético no fabrico das placas de gesso.

O objectivo deste estudo consistiu, assim, no estabelecimento de uma metodologia que permitisse uma caracterização das emissões do sulfureto de hidrogénio nas diferentes placas de gesso cartonado de várias proveniências de tipo natural e sintético. Pretendeu-se que esta metodologia fosse rápida, pelo que os testes foram efectuados em placas, quando sujeitas a gradientes de humidade relativa.

A caracterização das placas de gesso cartonado quanto à emissão do H₂S é indispensável, visto que além de apresentar um odor desagradável é também nocivo à saúde.

1.1 Qualidade do ar interior e a saúde

A qualidade do ar interior não se restringe apenas às concentrações dos poluentes (dióxido de carbono, monóxido de carbono, partículas, compostos orgânicos voláteis (COVs, radão, entre muitos outros) existentes, mas também aos outros parâmetros (humidade relativa, temperatura, etc.) e da percepção que cada pessoa faz da sua qualidade [1].

Actualmente, um dos problemas verificados nas novas construções e nas remodelações dos edifícios está relacionado com a qualidade do ar interior, uma vez que ela interfere na saúde dos seus ocupantes e na economia.

Em consequência das crises petrolíferas, os edifícios construídos no final dos anos setenta e na década de oitenta foram forçados a minimizar o custo de energia relacionado com o ar de renovação, o que gerou assim uma diminuição drástica do caudal insuflado. Estas construções passaram a ser praticamente estanques, visto que o objectivo era aumentar a eficiência energética. Com o aumento da permanência das pessoas nos edifícios (residência, trabalho, lazer, etc.), com a utilização de novos materiais e novas tecnologias na construção e com a utilização de sistemas de ventilação e climatização, foram surgindo muitas queixas relativamente à saúde [2], ligadas à qualidade do ar interior. Tal situação deu origem a novos conceitos como “síndrome dos edifícios doentes” (SBS) e “doença associada ao edifício”.

A exposição das pessoas à má qualidade do ar interior surte efeitos negativos na saúde, levando ao aparecimento de algumas doenças, nomeadamente de doenças cardiovasculares, de problemas respiratórios, de alergias, da doença pulmonar obstrutiva crónica (DPCO), do cancro do pulmão, da irritação e do desconforto. Além de efeitos negativos na saúde também causam efeitos negativos na economia, na medida em que aumenta o absentismo e diminui a produtividade nos trabalhadores [3].

A probabilidade de uma pessoa exposta a um contaminante vir a adoecer depende, de entre vários factores, da sensibilidade dessa mesma pessoa a esse contaminante, do seu estado de saúde física e psicológica, da frequência e da duração da sua exposição ao ambiente contaminado [4].

Assim, a prevenção dos problemas da qualidade do ar interior revela-se mais eficaz do que a tomada de medidas correctivas posteriormente. Como exemplos de medidas preventivas podem ser referidas a utilização de produtos de limpeza, materiais e equipamentos pouco poluentes, localizar correctamente as entradas de ar novo nos edifícios, dimensionar correctamente os sistemas de climatização e ventilação, alterar certos hábitos dos ocupantes de espaços interiores como, é o caso de proibição de fumar dentro destes espaços, entre outros.

1.2 Fontes de poluição do ar interior

A caracterização de um espaço interior em relação a um poluente é dependente dos seguintes factores: volume do espaço, taxa de produção e libertação do poluente, taxa da sua remoção, velocidade das trocas de ar interior e exterior, concentração do poluente no exterior, temperatura e humidade relativa [5].

As fontes emissoras de poluentes do ar interior são normalmente divididas em duas, designadamente:

- Fontes internas

As principais fontes emissoras internas são os materiais de construção e de revestimento, as mobílias, o vestuário, a decoração, os seus ocupantes e suas actividades, os equipamentos eléctricos e electrónicos, os processos de combustão e equipamentos de climatização e ventilação [6]. Entretanto, estudos recentes comprovaram que em grande parte das situações são os materiais usados na construção e os sistemas de climatização os maiores responsáveis pela contaminação do ar interior [7,8], e não os seus ocupantes e as suas actividades.

- Fontes externas

Como fontes emissoras externas contamos com a actividade vulcânica, com as centrais de produção de energia, com os meios de transporte, com os processos industriais, com a construção civil, com a agricultura [9], com as condições meteorológicas adversas e com o grau de urbanização e respectiva localização [6]. O facto de haver sempre uma troca do ar interior do edifício pelo ar exterior, quer pela infiltração quer pela ventilação natural ou forçada [10], realça a importância do ar exterior como uma possível fonte de poluição.

A Tabela 1.1 representa as principais fontes dos contaminantes do ambiente interior e os respectivos efeitos negativos. As partículas (PM 10) são referenciadas como sendo as partículas suspensas no ar cujos diâmetros são inferiores a 10 μm , e os compostos orgânicos voláteis (COV's) são todos os compostos cujo ponto de ebulição estão compreendidos entre 50 °C e 260 °C.

Caracterização das emissões de Sulfureto de Hidrogénio (H₂S) por placas
de gesso cartonado em câmaras de teste

Tabela 1.1 Relação entre os parâmetros de contaminação, as suas possíveis fontes e as doenças [11].

Parâmetros	Fontes	Efeitos negativos
Partículas (PM 10)	Ar exterior (tráfego, terra, indústria,...), fumo de tabaco, processos de combustão, vapores metálicos e orgânicos e aerossóis.	Reacções inflamatórias pulmonares, sintomas respiratórios, aumento do uso de medicação, redução da esperança de vida, etc.
CO ₂	Respiração, fumo de tabaco, processos de combustão, automóveis e indústria.	Náuseas, vômitos, hemorragia gastrointestinal e asfixia.
CO	Fumo de tabaco, processos de combustão, automóvel e indústria.	Problemas de visão, redução de destreza manual, redução da capacidade de trabalho, diminuição da capacidade de aprendizagem, morte, etc.
Ozono	Fotocopiadoras, impressoras a laser, motores eléctricos e de combustão.	Irritação nos olhos, nariz e garganta, tosse e cefaleias.
Formaldeído	Mobiliário, agente preservante, laboratórios, embalsamação de peças anatómicas e agente esterilizante.	Forte irritações das mucosas (olhos, nariz e garganta) e também provável cancerígeno humano.
COV's	Materiais usados no revestimento de pavimentos, vernizes, solventes, cola, produtos de limpezas, materiais de limpeza, materiais de isolamento, cosmética, etc.	Cancerígenos, efeitos na pele, ao nível da reprodução, membranas mucosas dos olhos, nariz, garganta e sistema nervoso.
Radão	Solos contendo urânio, granito, infiltração ascendente através do solo ou parede.	Cancerígenos.
Fungos e Bactérias	Locais húmidos e/ou sujos, sistemas de ventilação e climatização.	Infecções a nível geral que, quando mal ou tardiamente tratadas, podem levar à morte.

De modo a garantir um ambiente interior são, em 2006 foi criado um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei por transposição da Directiva nº 2002/92/CE, tais:

- D.L. nº 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)
- D.L. nº 79/2006 de 4 Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE)
- D.L. nº 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)

O D.L. nº 79/2006 de 4 de Abril, que regula os Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), impõe valores limite para as concentrações dos contaminantes. Tais valores encontram-se representados na tabela seguinte:

Tabela 1.2 Concentrações máximas dos parâmetros regulados pelo RSECE.

Parâmetros	Concentrações máximas
PM 10	0,15 mg/m ³
CO ₂	1800 mg/m ³
CO	12,5 mg/m ³
Ozono	0,2 mg/m ³
Formaldeído	0,1 mg/m ³
COVs	0,6 mg/m ³
Bactérias	500 UFC/m ³
Fungos	500 UFC/m ³
Legionella	100 UFC/L
Radão (*)	400 Bq/m ³

(*) Se aplicável.

As placas de gesso cartonado são usadas como materiais de revestimento interior dos edifícios, e a sua utilização crescente torna a sua caracterização quanto a possíveis emissões de poluentes (dissulfureto de carbono, dióxido de enxofre, sulfureto de hidrogénio, etc.) indispensável. Nos próximos subcapítulos será feita uma abordagem do gesso, fabrico das placas de gesso cartonado e a presença de sulfureto de hidrogénio nessas placas.

1.3 Gesso

O vocabulário gesso provém do latim *gypsum* e do grego *pypsos* que significa plaster ou cré. A sua utilização em construção civil remonta a milhares de anos, por egípcios e romanos [12].

Apesar de existir há milhares de anos, a sua utilização prática ocorreu em França no século XVIII, pois foi ali que se desenvolveram métodos mais eficientes de secagem, sendo, por isso, muitas vezes designado por gesso de Paris.

O gesso é o nome genérico usado para designar uma família de aglomerados simples [13] e encontra-se na natureza sob duas formas [14,15]:

- Anidrite, sob símbolo químico CaSO_4 .

- Gipsita ou sulfato de cálcio com duas moléculas de água, di-hidratado, muito abundante, sob símbolo químico $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, correspondente a 79,07 % de sulfato de cálcio e 20,93 % de água.

A sua densidade é 2,3 e tem de dureza 1,5 a 2 na escala de Mohs, dependendo da orientação da face cristalina [14].

Devido à sua abundância em algumas regiões do mundo e porque o seu preço é igual ou mesmo inferior à cal, isso possibilita o seu emprego como material de revestimento de paredes e forros, resultando em superfícies lisas e com bom acabamento, superiores aos obtidos com o uso de argamassas de cal [13].

O processo da obtenção do gesso consiste na moagem e na calcinação da *gypsum* (rocha sedimentária), obtendo o hemi-hidratado $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$, denominado plaster de Paris ou gesso [12]. Dependendo do processo de calcinação da *gipsita*, obtém-se o gesso alfa ou gesso beta. Nos fornos tipo autoclave é produzido o gesso beta, e enquanto o gesso alfa é produzido nos fornos à pressão atmosférica. Quando em contacto com a água o gesso re-hidrata-se, formando uma pasta seca e dura que pode ser trabalhada para fins diversos. A quantidade de água utilizada varia em função do tempo do endurecimento desejado. O gesso alfa é um produto mais homogêneo com maior resistência mecânica e menor consistência e é utilizado principalmente na medicina dentária, enquanto o gesso beta é caracterizado por cristais mal formados e heterogêneos e formam produtos com menor tempo de endurecimento, pelo que são utilizados na indústria da construção civil, cerâmica, etc. [16]. Na Figura 1.1 encontra-se uma representação da família de produtos do gesso [17].

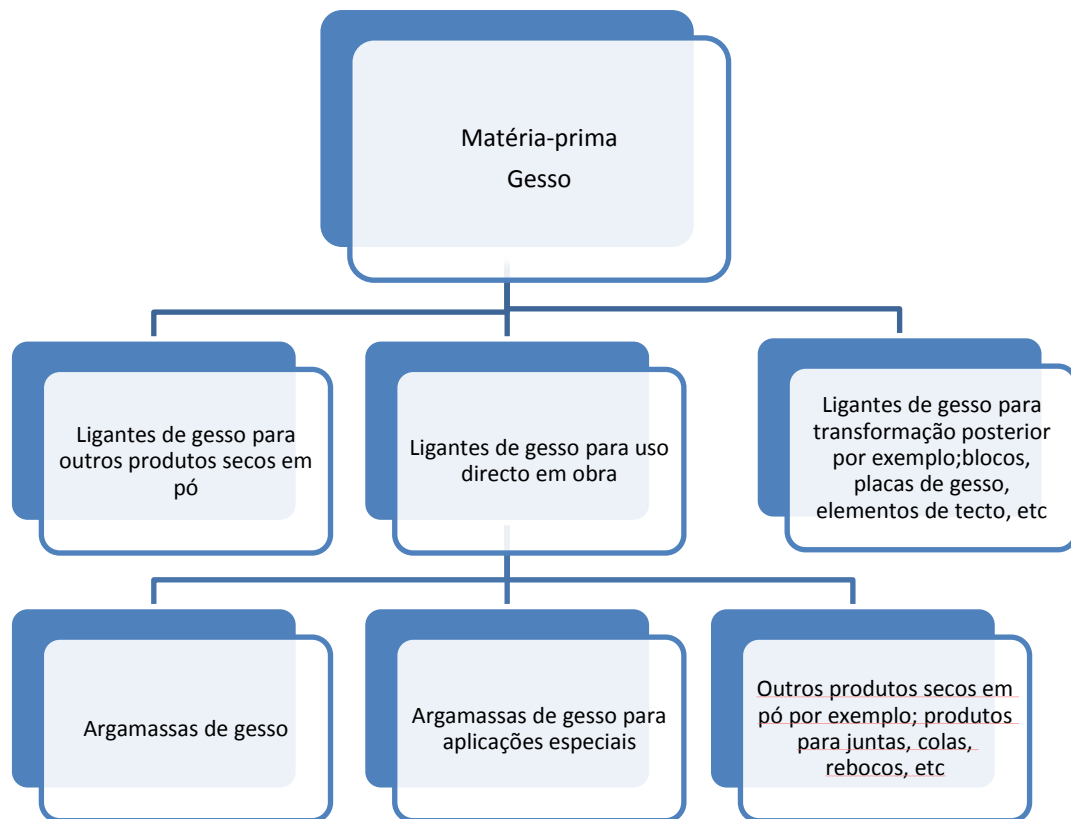


Figura 1.1 Famílias de ligantes de gesso e de produtos de gesso.

Pelo facto do gesso ter uma baixa condutividade térmica e um elevado coeficiente de absorção acústica, permite a sua utilização como um bom isolante térmico e acústico. E também são utilizados como barreiras corta-fogo devido à sua baixa condutividade térmica. Já a sua aplicação no exterior peca pelo facto de ser um material com pouca resistência à água.

O critério da escolha do gesso para determinada aplicação depende das propriedades físicas a exigir na sua função. A sua utilização é vasta em diferentes áreas, tais como: construção civil, medicina, arte, etc.

1.4 Placas de Gesso Cartonado

Na indústria do gesso, a calcinação é o processo mais utilizado, ultrapassando 95% do gesso consumido [12]. Uma das grandes utilizações do gesso é na produção de placas de gesso cartonado.

As placas de gesso cartonado ou placas de gesso laminado (PGL) consistem num produto com mais de 120 anos, com origem em 1890, nos Estados Unidos. A sua introdução na Europa aconteceu no ano 1917, mais concretamente na Inglaterra e, em 1948 foi criada a primeira fábrica em França e depois na Alemanha. Só no ano 1978 se começou a fabricar em Espanha através da marca Pladur®. Nos países ditos desenvolvidos constitui um material básico de construção interior e estima-se que estejam aplicados 100 000 milhões de m². As principais fábricas em Portugal são, a Pladur®, a Knauf® e a Iberplaco®, a Fibroplac e a Gyptec, sendo as duas últimas nacionais e da zona centro [18].

O processo de fabrico da placa do gesso cartonado consiste em moer o gesso abaixo de 200 μ m, e calcinar a 120 °C para se transformar em estuque ou sulfato hemi-hidratado. Em seguida adiciona-se água, com ou sem aditivos, para controlar a fluidez, a densidade e a velocidade de solidificação. O produto obtido é ensanduichado entre folhas de cartão num processo contínuo. A hidratação do hemi-hidratado endurece o gesso, que seca parcialmente à medida que a placa de gesso vai passando por uma série de rolos e prensas. O processo é demonstrado infra, na Figura 1.2 [12].

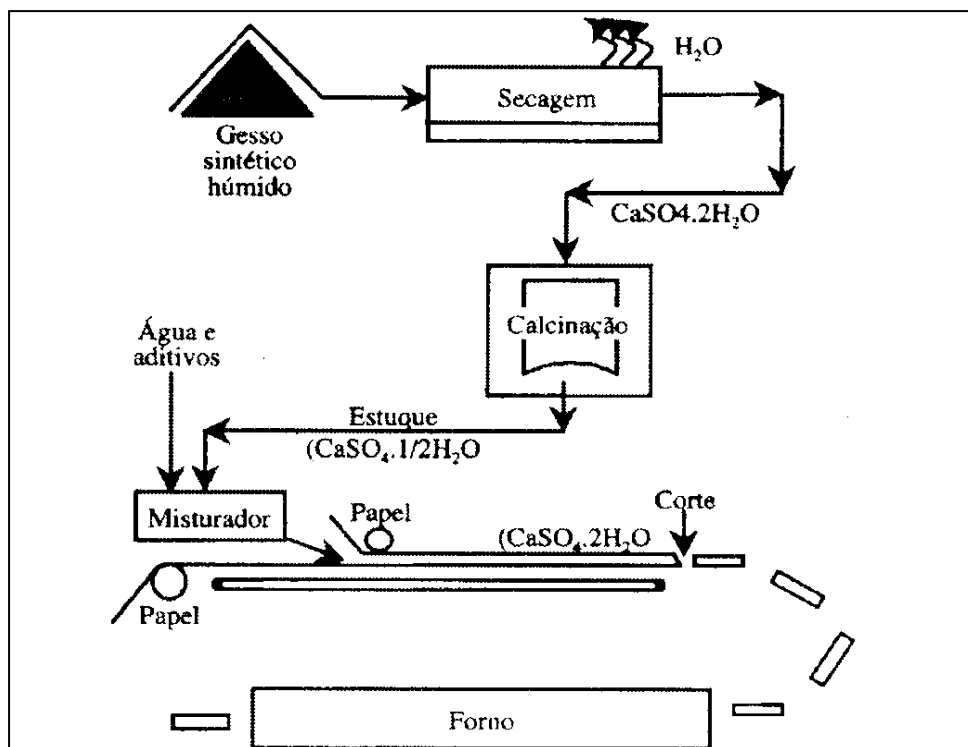


Figura 1.2 Processo de fabrico de placas de gesso (adapt. HARBEN, 1995).

Além das placas de gesso cartonado usando o gesso natural também existem placas em que se usa o gesso sintético. O gesso sintético é um subproduto de centrais eléctricas de carvão, obtido por uma reacção química do dióxido de enxofre extraído das emissões de combustão do carvão com o carbonato de cálcio, o produto formado é o sulfito de cálcio (CaSO_3), que em contacto com a água oxida-se e forma o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [19].

Hoje em dia, é possível encontrar uma variedade de placas de gesso cartonado para diversas aplicações, desde placas-padrão, a placas resistentes ao impacto, a placas flexíveis, placas resistentes ao fogo e a placas resistentes à humidade.

1.5 A presença do Sulfureto de Hidrogénio (H₂S) nas placas de gesso cartonado.

O H₂S no seu estado natural é um composto corrosivo, venenoso e gasoso. É solúvel em água e etanol e pode ser preparado pela acção de ácidos minerais em sulfuretos metálicos, geralmente ácido clorídrico com sulfureto de ferro II. [20].

Relativamente às propriedades químicas, o H₂S [20]:

- Queima ao ar, originando dióxido de enxofre e água:



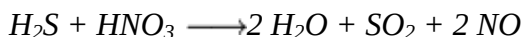
- Quando a quantidade de oxigénio não for suficiente para completar a reacção química, produz enxofre livre e água:



- Reage com diversos sais de metais pesados entre os quais, o cobre, o estanho, o zinco, o ferro, o cobalto, etc., originando sulfuretos insolúveis, quando em solução diluída:



- Também é um forte redutor, do qual se apresentam os seguintes exemplos:



Podemos destacar como origem de H₂S: gás sintético do carvão, gás natural, petróleo que contêm enxofre, jazidas de sal, minérios sulfatados, zonas pantanosas, águas subterrâneas, etc. O H₂S pode também ser originado como resultado da degradação bacteriana de matéria orgânica em condições anaeróbicas [21]. É na indústria petroquímica onde se detecta com maior frequência o H₂S, paralisando-se todas actividades quando a concentração desse gás for superior a 8 partes por milhão (ppm) na atmosfera do local. Este gás encontra-se sempre nos aterros sanitários, e é responsável pelo odor característico destes, como além do odor também pode prejudicar a saúde dos seus funcionários e a danificação dos aparelhos eléctricos e electrónicos. Os seres humanos também produzem o H₂S, através das bactérias na cavidade bucal e também nos intestinos. O estudo realizado em museus de modo a quantificar a percentagem de H₂S, visto que este gás poderia ser um dos responsáveis pela degradação das obras expostas [22], mostra que a concentração de H₂S aumenta com o número de visitantes (Figura 1.3).

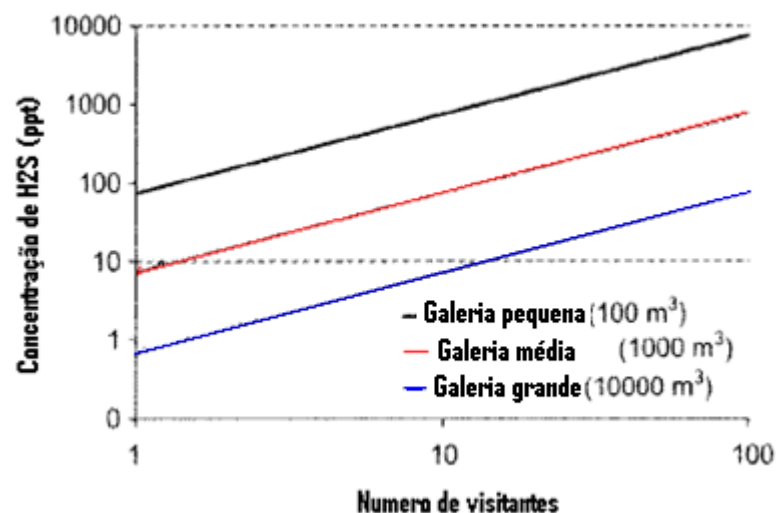


Figura 1.3 Concentrações de H_2S produzidas pelos visitantes nas galerias de arte.

Como referência a um caso com as placas de gesso cartonado defeituoso instalado, surge o órgão de protecção dos consumidores norte-americanos (*CPSC- Consumer Products Safety Commission*) que registou mais de 3000 reclamações nos 24 estados dos EUA entre 2001 a 2008 em casas novas e casas reabilitadas. Os proprietários destes imóveis alegaram que estas placas emitiam gases sulfúricos, que causaram problemas respiratórios, avarias em aparelhos de ar condicionado e até em componentes eléctricos no interior dos edifícios. Segundo os proprietários, estes problemas ocasionaram para uma desvalorização dos seus imóveis. Em resposta a estes problemas o *CPSC* em parceria com o Laboratório Nacional Lawrence Berkeley (LBNL) realizou um estudo a 30 placas de gesso cartonado de origem Chinesas e Norte Americanas. Com base no estudo realizado foi efectuado um relatório preliminar em Outubro de 2009, em que os resultados obtidos indicam uma emissão acentuada dos compostos de enxofre (dióxido de enxofre, dissulfureto de carbono, sulfureto de hidrogénio, etc.) nas placas de origem Chinesa com ano de fabrico 2005/2006. Este relatório é uma avaliação preliminar dos testes de câmara, em que o objectivo final foi a caracterização da emissão de cada placa sem que houvesse interferência a outros produtos, tais como: carpetes, tintas, adesivos, produtos de limpeza, mobílias, etc. [23].

Ainda pouco se sabe quanto à origem de H_2S nas placas de gesso cartonado, visto ser um assunto recente em que é escassa a informação na literatura.

Também se verificou a existência de H_2S em níveis de concentração elevados nos aterros que aceitam os restos de materiais de construção e demolição [24]. Verificou-se que a principal fonte eram as placas de gesso cartonado, um dos principais componentes dos detritos de obras. A emissão de H_2S dar-se-ia por acção microbiológica. Xu *et al* [24] procuraram a inibição das emissões de H_2S pelas placas de gesso quando atacadas por bactérias específicas que reduzem o sulfato, aplicando três agentes químicos: molibdato de sódio (Na_2MoO_4), cloreto férrico ($FeCl_3$) e cal hidratada ($Ca(OH)_2$). Todos os três compostos inibiram a geração de H_2S , verificando-se que o molibdato de sódio interrompeu o processo

de redução biológica, e a cal hidratada, assim como o cloreto férrico, causaram um pH desfavorável para a actividade microbiológica.

A Tabela 1.3 demonstra a relação existente entre as concentrações de H₂S e os efeitos nos seres humanos.

Tabela 1.3 Relação entre os parâmetros e as suas concentrações máximas [21]

Concentração de H ₂ S (ppm)	Efeitos nos seres humanos
0,3 a 1	Detectável pela maioria das pessoas pelo sentido do paladar, mais que pelo odor.
3 a 5	Facilmente detectável. Odor moderado.
8	Inicia o processo de irritação dos olhos. Nível de exposição permissível para 8 horas de de exposição.
20 a 39	Odor forte e desagradável, mas não intolerável. Provoca tosse e imediata irritação dos olhos. Concentração máxima permissível para curto período de exposição (10 min por turno de 8 horas).
50	Irritação pronunciada dos olhos, garganta e pulmões.
100	Tosse, irritação dos olhos, perda do olfato após 2 a 5 minutos de exposição.
200	Inflamação dos olhos e irritação no sistema respiratório, após uma hora de exposição.
500	Perda de consciência e possível morte em 30 minutos a uma hora .
700 a 1000	Inconsciência imediata, paralisação da respiração e morte. Poderá resultar danos cerebrais permanentes.
1000 a 2000	Inconsciência instantânea, com paragem respiratória e morte em poucos minutos. A morte poderá ocorrer mesmo se houver remoção para ambiente não contaminado.

1.6 Organização da Dissertação

De modo a responder à problemática da qualidade do ar interior, esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, com o objectivo da caracterização das emissões de H_2S nas placas de gesso cartonado.

- Primeiro Capítulo – Introdução – é abordado o conceito da qualidade do ar interior, bem como também o gesso, as placas de gesso cartonado e a origem do H_2S nestas placas.
- Segundo Capítulo – Método utilizado na determinação do factor de emissão de H_2S – é apresentado o método utilizado para o cálculo das emissões de H_2S nas placas de gesso cartonado.
- Terceiro Capítulo – Trabalho Laboratorial – é feita uma apresentação da instalação laboratorial e a metodologia seguida durante os ensaios, bem como a qualidade das medições efectuadas.
- Quarto Capítulo – Análise dos resultados – apresentam-se os resultados obtidos durante os ensaios realizados e posteriormente o cálculo do factor de emissão de H_2S para os casos possíveis.
- Quinto Capítulo – Conclusão – são apresentadas as conclusões retiradas dos diferentes ensaios realizados as placas de gesso cartonado.

2 Método utilizado na determinação do factor de emissão de H₂S

Os dados das concentrações recolhidas na câmara de teste são utilizados para estimar os valores da taxa de emissão, sendo que a referida câmara opera sob condições bem determinadas da taxa de ventilação e do factor de carga (razão entre a área de material e o seu volume). O factor de emissão ou taxa de emissão é, geralmente, expresso em termos de massa emitida de substância em estudo por unidade de área e por unidade de tempo ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$), embora em alguns casos, o factor de emissão venha expresso em termos da massa emitida por unidade de massa aplicada e por unidade de tempo, como é o caso de tintas, ou em massa emitida por unidade de comprimento e por unidade de tempo, utilizado normalmente para fitas de calafetagem.

Na determinação da taxa de emissão temos que ter em conta das diferentes condições de emissão:

- **Taxa de emissão constante**

Para os materiais cujos ensaios apresentam uma taxa de emissão relativamente constante, a concentração irá atingir um determinado valor e manter-se praticamente constante na câmara, ao longo do tempo. Nestes materiais, basta considerarmos um simples balanço de massa em regime permanente, para que a taxa de emissão possa ser calculada da seguinte forma [25]:

$$FE = QC/A \quad (2.1a)$$

ou

$$FE = nC/L \quad (2.1b)$$

em que,

- FE = Taxa de emissão ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)
- C = Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Q = Caudal de ar de renovação (m^3/h)
- A = Área do material (m^2)
- n = Taxa de renovação do ar da câmara (h^{-1}), $n = Q/V$
- L = Factor de carga da câmara (m^2/m^3), $L = A/V$
- V = Volume da câmara (m^3)

- **Taxa de emissão decrescente**

É necessário um procedimento diferente para fontes cujas taxas de emissão decresçam ao longo do período de teste. O método apresentado, subsequentemente, aplica-se a fontes com uma determinada taxa de emissão inicial, que vai decrescendo com o tempo. A maioria das fontes húmidas apresenta tal comportamento.

Para a análise dos resultados dos testes em câmara, desenvolveram-se modelos para fornecer as taxas de emissão. O modelo mais simples, que negligencia o efeito poço e efeitos da pressão de vapor, pressupõe o seguinte:

- a) As câmaras devem ser inertes, isto é, não devem adsorver nem libertar os compostos em estudo.

- b) A variação da taxa de emissão pode ser aproximada por uma lei de decréscimo de primeira ordem, como indica a equação seguinte:

$$FE = FE_0 e^{-kt} \quad (2.2)$$

Sendo que:

- FE_0 = Factor de emissão inicial ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$)
- k = constante de emissão 1ª ordem (h^{-1})
- t = tempo (h)

Efectuando um balanço de massa na câmara ao longo de um pequeno incremento de tempo (dt), obtemos:

- Variação da massa = Massa emitida – Massa saída da câmara

Tal pode ser expressa por:

$$VdC = AFE_0 e^{-kt} dt - QCdt \quad (2.3)$$

ou

$$\left(\frac{dC}{dt}\right) + \frac{QC}{V} = \left(\frac{A}{V}\right) FE_0 e^{-kt} \quad (2.4)$$

A equação 2.4. é uma equação linear e diferencial não homogénea. Admitindo que $C=0$, quando $t=0$, a solução para equação é:

$$C = \frac{L}{n-k} FE_0 (e^{-kt} - e^{-nt}) \quad (2.5)$$

No caso de taxa de emissão constante e admitindo concentração nula no instante inicial a evolução da concentração no interior da câmara de teste é dada por:

$$C = \frac{L}{n} FE (1 - e^{-nt}) \quad (2.6)$$

A equação 2.1 resulta da equação 2.6 para elevados valores de t .

Modelo empírico geral

O modelo empírico a apresentar foi ajustado com êxito aos dados de concentração obtidos a partir de uma variedade de processos de emissão, em diferentes materiais. O modelo pode ajustar-se aos dados (dependendo dos valores dos seus parâmetros), a partir do zero, aumentando com o tempo e eventualmente atingindo o valor de equilíbrio assintótico estável, ou aos dados que passam por máximo e depois decrescem até zero, ou para algum valor de equilíbrio intermediário fixo [26].

Efectuando um balanço de massa na câmara para um pequeno aumento de tempo (dt), e não considerando o efeito poço, obtemos:

$$VdC = AFE dt - QCdt \quad (2.7)$$

Em que a equação 2.7 permite calcular os factores de emissão a qualquer instante e , com um pequeno reajustamento, temos:

$$FE = \frac{1}{A}[V(\frac{dC}{dt} + QC)] \quad (2.8)$$

$$FE = \frac{VdC}{Adt} + \frac{QCV}{AV} \quad (2.9)$$

$$FE = \frac{dC}{Ldt} + \frac{nC}{L} \quad (2.10)$$

$$FE = \frac{1}{L}(\frac{dC}{dt} + nC) \quad (2.11)$$

Nota: A equação (2.1a) é uma simplificação da equação 2.8, em que considera-se um regime permanente ($\frac{dC}{dt} = 0$).

Salienta-se que todos os métodos de cálculo acima não têm em conta os diversos factores que podem afectar as taxas de emissão, abarcando:

- O efeito da concentração na câmara na transferência de massa;
- O efeito de adsorção e re-emissão.

Os modelos foram desenvolvidos com base na transferência de massa [27].

3 Trabalho Laboratorial

3.1 Material utilizado

As placas de gesso cartonado estudadas foram disponibilizadas pelo Laboratório da Qualidade do Ar Interior (LQAI) do IDMEC/FEUP, e os ensaios foram realizados no mesmo laboratório. Foram estudadas cinco placas diferentes de gesso cartonado, não se conhecendo as suas composições químicas. O estudo baseou-se apenas na caracterização da emissão de Sulfureto de Hidrogénio (H_2S).

Em seguida é apresentada uma imagem (Figura 3.1) de uma das cinco placas e uma tabela (Tabela 3.1) com a área e massa das cinco placas.

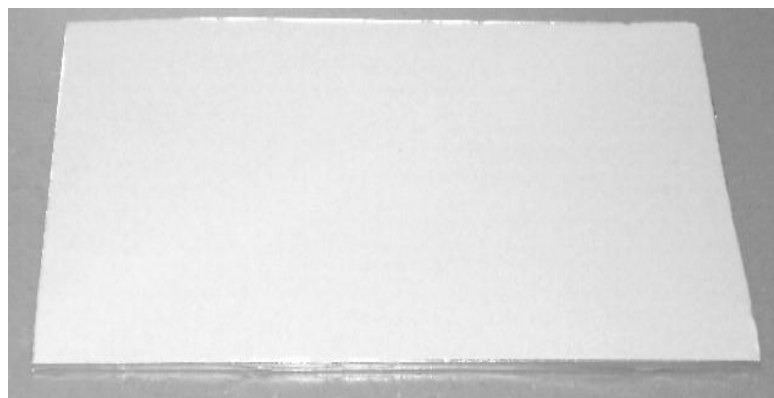


Figura 3.1 Fotografia de uma placa em que se cobriu a base e as arestas com papel de alumínio e fita de alumínio adesiva

Tabela 3.1 Áreas das amostras e as suas respectivas massas

Amostra	A	B	C	D	E
Área (m^2)	0,280	0,283	0,280	0,281	0,284
Massa (kg)	2,781	2,600	2,388	2,521	2,758

3.2 Instalação Laboratorial

Com o intuito de quantificar a emissão do sulfureto de hidrogénio (H₂S) nas diferentes placas do gesso cartonado, o presente trabalho foi realizado nas instalações do Laboratório da Qualidade do Ar Interior do Instituto de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A Figura 3.2 representa, esquematicamente, a instalação experimental usada para estudos da emissão H₂S nas placas de gesso cartonado.

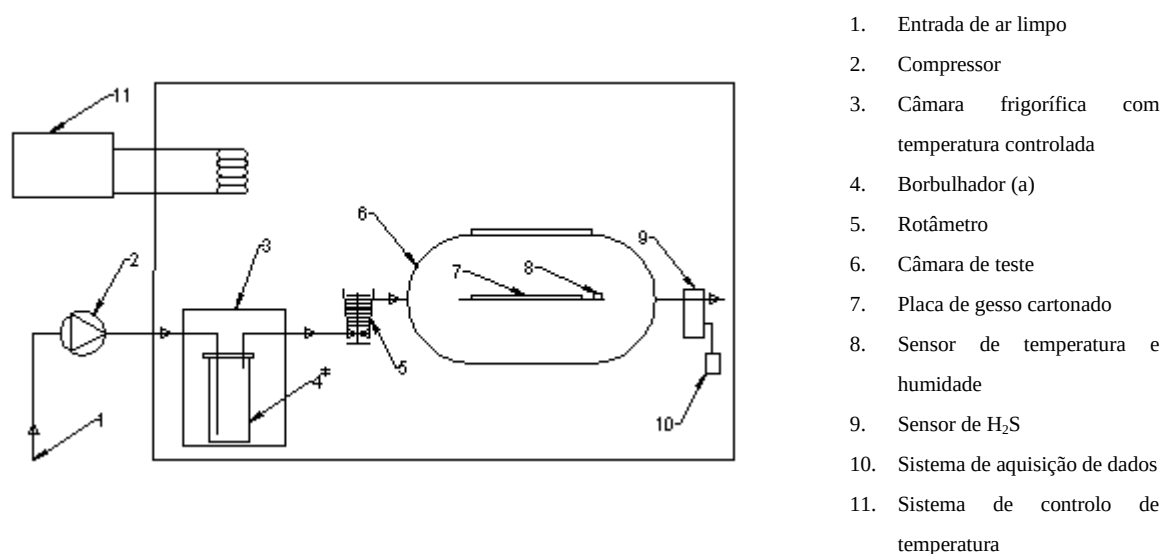


Figura 3.2 Representação esquemática da instalação

* Parte dos testes realizados ocorreram a valores elevados da humidade relativa (70%) o que exigiu a colocação de mais borbulhadores em serie com o primeiro.

Câmara de Teste

Este equipamento tem como objectivo a representação de um espaço interior com as condições similares às verificadas dentro dos edifícios (ver Figura 3.3 e 3.4). A câmara de teste será pois a reprodução de uma sala, em que existe apenas um material, aquele que é o objecto do estudo. Esta técnica permite obter as informações padronizadas, necessárias para que se possa comparar a qualidade de diferentes materiais. As câmaras de teste devem cumprir algumas exigências no que respeita à pureza do ar no seu interior, ao controlo rigoroso dos parâmetros experimentais e respectiva precisão que condicionam as emissões de COVs e as respectivas concentrações na atmosfera (temperatura, HR, velocidade do ar à superfície dos materiais e taxa de ventilação), existência de fugas e eficiência da mistura do ar. O valor da taxa de ventilação (n) deve ser escolhido de acordo com a relação existente

entre a área de material e o volume da câmara de teste (factor de carga, L , $L=A/V$, sendo A , a área de material e V , o volume da câmara). Estes três parâmetros estão relacionados entre si através de uma equação que define a taxa de ventilação específica ($q_e=L/\eta$). A taxa de ventilação específica é a taxa de ventilação por unidade de área de superfície emissora. O valor mínimo definido para residências varia de acordo com as diferentes normas existentes a nível mundial. Segundo o Comité Técnico CEN/TC 351 (*Construction products: assessment of release of dangerous substances*) para o desenvolvimento de métodos de ensaio para substâncias perigosas dos materiais de construção, o valor da taxa de ventilação específica para os diferentes tipos de materiais será definido de acordo com um espaço modelo de 12 m^2 de área ($3,0 \times 4,0 \text{ m}$), $2,5 \text{ m}$ de altura e $30,0 \text{ m}^3$ de volume, com uma taxa de ventilação de $0,5 \text{ h}^{-1}$ (ver Figura 3.4)

A câmara de teste utilizada (ver Figura 3.3) foi construída com materiais inertes, sendo que o corpo é em aço inox e a tampa em vidro, de modo a minimizar o efeito de adsorção. A ligação da tampa ao corpo da câmara é efectuada por aperto e com uma junta de silicone para assegurar a estanqueidade.



Figura 3.3 Câmara de teste

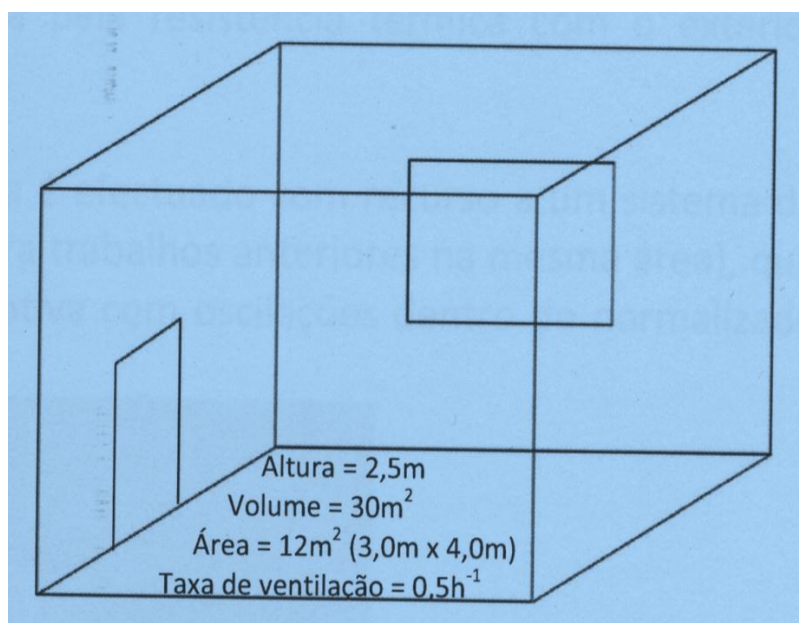


Figura 3.4 Definição de um espaço modelo pelo Comité Técnico CEN/TC 351

O ar de renovação na câmara é garantido por um compressor isento de óleo (KNF, modelo N035 AT.18), sendo que a purificação do mesmo é realizada antes de entrar na câmara de teste, por um filtro de carvão activado. Após a purificação, o ar é humidificado por um sistema de borbulhamento (Figura 3.5), através de um recipiente de aço inox com uma coluna de água, que por injeção a partir de um elemento poroso assegura uma dispersão desse ar através de um enxame de bolhas. Este borbulhador encontra-se inserido numa câmara frigorífica com temperatura controlada, de modo a estabilizar a humidade relativa do ar vindo do exterior em 50 % aquando da sua circulação na câmara de teste, a 23 °C.



Figura 3.5 Borbulhador (a) na câmara frigorífica

A temperatura da câmara é controlada indirectamente pelo sistema de climatização do ar do laboratório. As oscilações de temperatura registadas no ar de laboratório (típicas do sistema de climatização) são atenuadas pela inércia térmica da envolvente e da própria câmara.

Relativamente à velocidade do ar no interior da câmara, esta é controlada por um variador de frequência, que regula o ventilador integrado no corpo da câmara, garantindo assim a velocidade desejada (0,15 m/s) e uma distribuição uniforme.

Equipamentos de medida

- **Sensor *Testo 175-H2***

O *Testo 175-H2* utilizado permite a medição da temperatura e da humidade relativa na câmara de teste, com uma resolução de 0,1°C e 0,1% *HR* respectivamente. O seu visor faculta uma obtenção rápida, no local, dos valores de medição actuais.

- **Dispositivo TG-502 da *Gray Wolf***

Para além dos dois sensores para temperatura e humidade relativa este dispositivo (Figura 3.6) inclui também três sensores electroquímicos para medição das concentrações de gás. No entanto, foi utilizado na experiência, o sensor electroquímico capaz de medir a concentração do H_2S proveniente das placas do gesso cartonado na câmara. Este aparelho vem acompanhado de um sistema de aquisição de dados (Figura 3.7).



Figura 3.6 Dispositivo TG-502 da *Gray Wolf*



Figura 3.7 Sistema de aquisição de dados.

- **Rotâmetro - Cole Parmer**

A obtenção dos valores da taxa de renovação do ar na instalação é obtida através da medição do caudal de ar de renovação num rotâmetro (*Cole Parmer*), com uma escala entre 0-7590 ml/min e uma exactidão de $\pm 0,25\%$. Realizou-se uma calibração de modo a obter o caudal em função do valor observado no rotâmetro, em que as condições do ar correspondem praticamente a pressão atmosférica e temperatura de 23 °C.

3.3 Testes preliminares

Visto que a finalidade é a caracterização da emissão do H₂S nas placas de gesso cartonado e sendo a humidade relativa um parâmetro relevante no gesso, devido a sua capacidade higroscópica, o que lhe confere um auto controlo da humidade (absorve o vapor de água no meio em que esta inserido e emite-o na sua ausência), foi necessário caracterizar a instalação quanto a este parâmetro, em simultâneo com os registos das temperaturas verificadas ao longo das experiências.

Sabendo-se que a introdução do processo de borbulhamento na instalação permite aumentar a humidade relativa do ar, foi necessário fazer um estudo prévio de modo a obter diferentes níveis de humidade relativa no interior da câmara de teste.

Numa fase inicial introduziu-se apenas um recipiente com água no interior da câmara, e manteve-se a câmara fechada (sem admissão de ar) de modo a aumentar a humidade relativa até cerca de 70%. Após esta HR pretendida ser atingida restabelecia-se a ventilação na câmara com o ar proveniente do compressor, permitindo assim uma diminuição gradual da *HR* no interior da câmara até os 40%.

Na segunda fase de ensaios utilizou-se, além do borbulhador (a), mais outro borbulhador (b) (Figura 3.8) em série, com o objectivo de se conseguir um aumento da *HR* do ar para valores variáveis entre 50% e 70%, sem a utilização do recipiente com água. Esta variação é conseguida pela adição de uma válvula de regulação do caudal em modo “*bypass*”, com o segundo borbulhador. Também se usou um sistema de aquecimento de modo a elevar a temperatura na câmara.

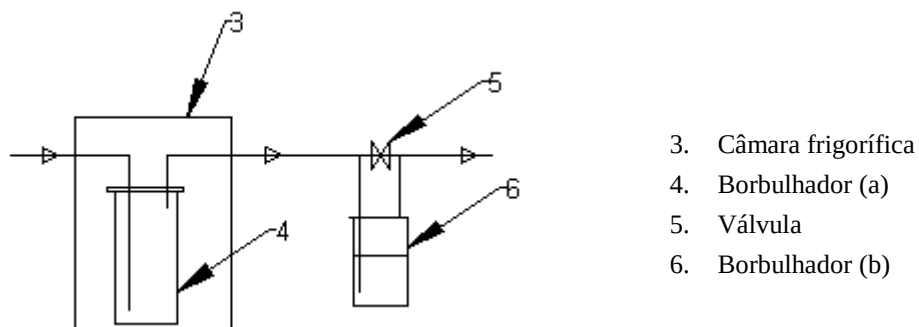


Figura 3.8 Representação esquemática do borbulhador (a) e (b) inseridos na instalação.

3.4 Ensaios realizados

Antes de ser introduzido na câmara de teste, o material foi preparado, cobrindo-se o fundo e as arestas com papel de alumínio e fita de alumínio adesiva de baixa emissão. O material foi testado em câmara de teste tendo sido considerado o cenário de utilização deste material como material de parede e assumindo uma taxa de renovação de $0,5 \text{ h}^{-1}$. A área de material era de cerca de $0,280 \text{ (m}^2\text{)}$ e o valor de q_e de $0,40 \text{ (mh}^{-1}\text{)}$, conforme especificações do CEN TC351. E como condições de referência na câmara de teste temos: $T=22 \text{ }^\circ\text{C}$, $HR=50\%$, $v=0,15\text{m/s}$ e a pressão igual a pressão atmosférica.

De modo a quantificar o factor de emissão de H_2S nas placas de gesso cartonado na câmara de teste, realizaram-se quatro tipos de ensaios:

a) Ensaios realizados em condições de acumulação (sem ventilação).

O teste consistiu em duas fases: uma fase de acondicionamento, em que a placa é colocada na câmara de teste sem ventilação (Figura 3.9) até que se atinja um valor de Humidade Relativa (HR) no ar de 70% (esta HR é obtida com auxílio de um recipiente com água na câmara), a outra fase é caracterizada pela medição do H_2S emitido pelo material, em que se aplica um caudal de ar à câmara de teste (Figura 3.10). Nesta segunda fase assiste-se a um decréscimo da HR .

As condições ambientais da câmara de teste são medidas continuamente por meio de um sensor *175-H2* da *Testo*. As concentrações de H_2S são monitorizadas através de um sensor electroquímico numa sonda *Gray Wolf TG-502-L*. Após o registo da variação da concentração com a diminuição da HR , inicia-se uma nova fase de acondicionamento e novo ciclo de medições com a mesma placa.

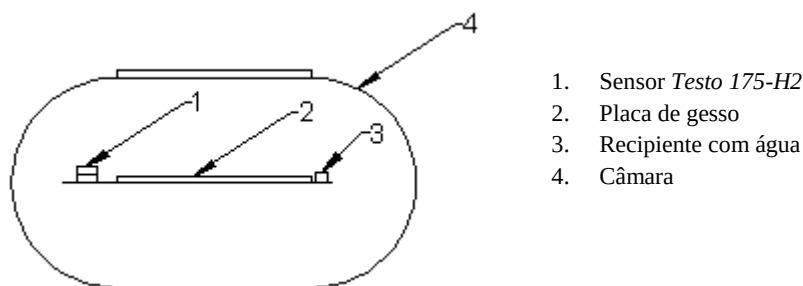


Figura 3.9 Representação esquemática de câmara sem ventilação

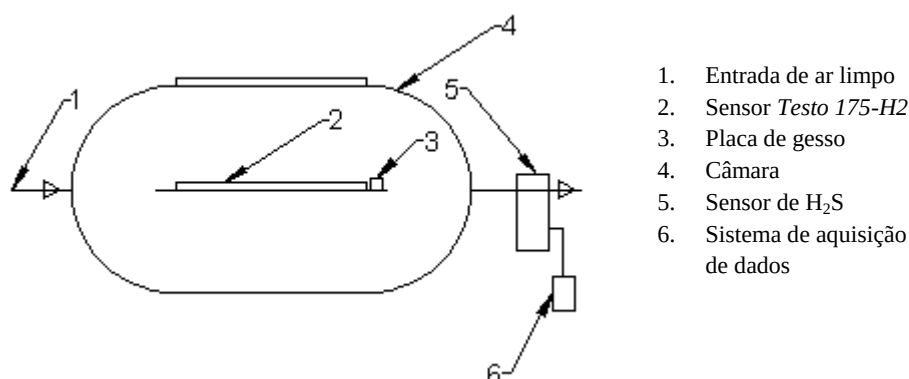


Figura 3.10 Representação esquemática de câmara com ventilação

As condições de ventilação e área do material exposto durante os ensaios foram as apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Parâmetros de ensaio da câmara de teste durante os ensaios às placas de gesso cartonado.

Amostra	Ensaio	n (h ⁻¹)	A/V (m ² /m ³)	q_e (m ³ h ⁻¹ m ⁻²)
A	1	0.44	1.11	0.40
	2	0.47	1.11	0.42
B	1	0.45	1.04	0.43
	2	0.45	1.04	0.43
C	1	0.45	1.10	0.41
	2	0.45	1.10	0.41
D	1	0.45	1.10	0.41
	2	0.45	1.10	0.41

O n representa número de renovações horárias de ar, A/V a relação entre a área da amostra e o volume da câmara e q_e a taxa de ventilação específica.

b) Ensaio realizado com a placa D sujeita a variações da temperatura e humidade relativa

Com intuito de verificar a variação das concentrações de H₂S na câmara de teste pela placa D foram assim realizados testes em que se aplica um caudal de ar à câmara de teste e com auxílio do sistema de borbulhamento permitiu-se a variação da humidade relativa dentro da câmara.

Também se realizaram variações da temperatura na câmara com ajuda de uma fonte de alimentação *POWER SUPPLY HY 3005D-3* da *KAISE*.

As variações implementadas nos testes foram as seguintes:

- Aumento da temperatura e aumento da humidade relativa
- Aumento da temperatura e humidade relativa constante
- Aumento da temperatura e diminuição de humidade relativa

c) Ensaios com as placas sujeitas a um gradiente de humidade

A influência da humidade relativa do ar nas taxas de emissão de compostos sulfurosos por parte do gesso foi referida em [23], embora reportassem apenas resultados de ensaios realizados a 25 °C e 50% de humidade relativa. Por outro lado, entendia-se que a submissão

do material a gradientes de humidade poderia inibir ou intensificar a taxa de transferência de massa, conforme o sinal do gradiente aplicado. Nesse sentido, todas as placas foram sujeitas a ensaios com condições iniciais de 25 °C e 70%, seguindo-se uma redução progressiva da humidade até 50%, mantendo-se a temperatura constante. Tratava-se de reproduzir uma situação do quotidiano, em que os materiais sujeitos a humidades típicas de dias húmidos passavam a ser expostos a ambientes típicos de dias mais secos.

Também neste caso o teste foi constituído por duas fases como o caso anterior, mas na sua fase de acondicionamento usaram-se vários borbulhadores de modo a obter-se a *HR* próxima dos 70 % na câmara de teste. A outra fase inicia-se com a extracção dos borbulhadores adicionados de modo a diminuir a *HR* dentro da câmara de teste. As condições ambientais da câmara de teste foram medidas continuamente por meio de um sensor 175-H2 da *Testo* e as concentrações de H₂S monitorizadas através de um sensor electroquímico numa sonda *Gray Wolf* TG-502-L. Este ensaio diferiu também do outro pelo aumento de temperatura na câmara de teste com auxílio de uma fonte de alimentação *POWER SUPPLY HY 3005D-3* da *KAISE*, de modo a obter temperaturas próximas dos 25 °C.

d) Ensaios sob condições constantes de humidade e de temperatura

Finalmente foram realizados ensaios a duas placas de gesso de diferentes origens, ambos a 25 °C e 60% de humidade relativa. Com vista a evitar a influência da emissão de H₂S na fase de estabilização das condições de teste, as placas foram pré-acondicionadas nessas condições de humidade e de temperatura durante cerca de 24 horas numa câmara especificamente preparada para esse fim.

3.5 Qualidade das Medições

É dever do experimentalista certificar-se da qualidade, quer das variáveis medidas, quer dos resultados obtidos a partir de equações que relacionam os dados experimentais. Tal é feito através da aplicação de métodos de análise de incerteza [Método Experimental em Energia Térmica (MEET)], o que permite obter um intervalo de confiança para o resultado, para uma dada probabilidade, em geral de 95%.

No presente trabalho, a principal quantidade a determinar era o factor de emissão (*FE*), que na sua forma mais simples, caso em que o processo atingia o regime permanente, era determinado pela equação:

$$FE = (C_0 - C_i)Q/A \quad (3.1)$$

onde *C* representa a concentração de H₂S, *Q* o caudal de renovação e *A* a área de transferência da placa de gesso.

Das variáveis em jogo, a incerteza associada à medição da concentração, nomeadamente a sua componente aleatória, era nitidamente superior às demais, conforme se pode observar pela variabilidade temporal das medições, mesmo em fases do processo a decorrer em regime permanente. Nestas condições, a aplicação da equação de propagação de incertezas permite concluir que os efeitos das incertezas no caudal e na área de transferência são comparativamente desprezáveis. Por outro lado, a menos da informação disponível na folha de especificações do instrumento de medição da concentração de H_2S , não foi possível avaliar a componente sistemática da incerteza, dada a inexistência de meios de comparação e de certificados de calibração. A dificuldade foi ainda incrementada em virtude e se ter descoberto que a humidade exercia uma forte influência na resposta do medidor. Por tudo isto, não foi possível estimar com rigor o valor da incerteza global associada à determinação do factor de emissão.

4 Análise dos resultados

Numa primeira fase serão apresentados os dados da evolução ao longo do tempo da concentração de H_2S , incluindo as evoluções da temperatura e da humidade relativa obtidos experimentalmente nas diferentes placas de gesso cartonado. Posteriormente apresenta-se a determinação das emissões de H_2S .

4.1 Resultados obtidos em condições de acumulação (sem ventilação)

Nos Gráficos 4.1 e 4.2 encontra-se representada a variação da Temperatura (T) e Humidade Relativa (HR) nos ensaios das placas A e B em função do tempo.

Gráfico 4.1 Variação da Humidade Relativa e Temperatura em função do tempo durante os dois ensaios efectuados consecutivamente sob a mesma placa A.

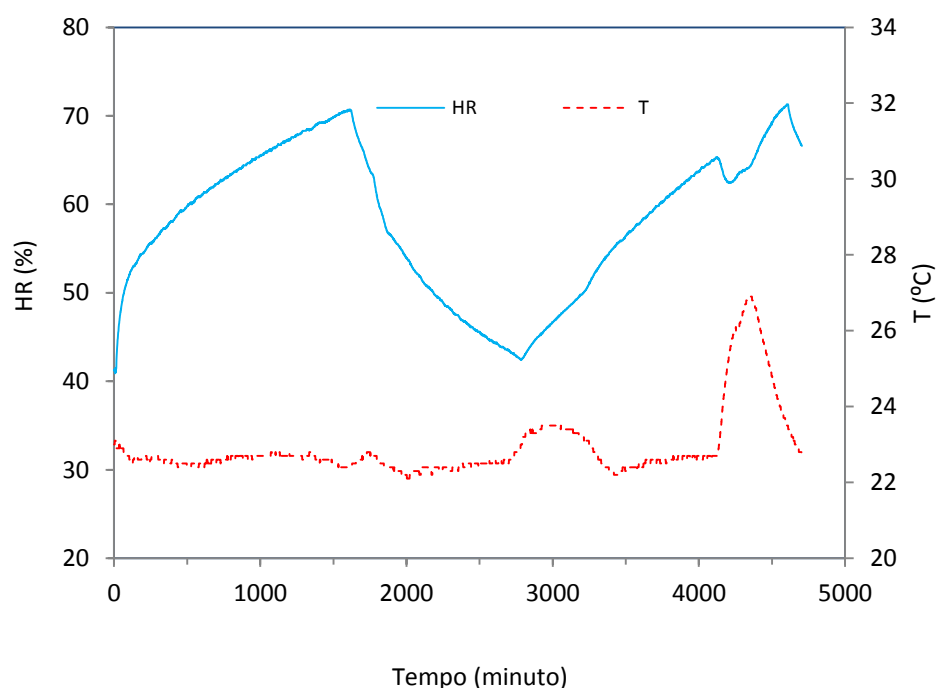
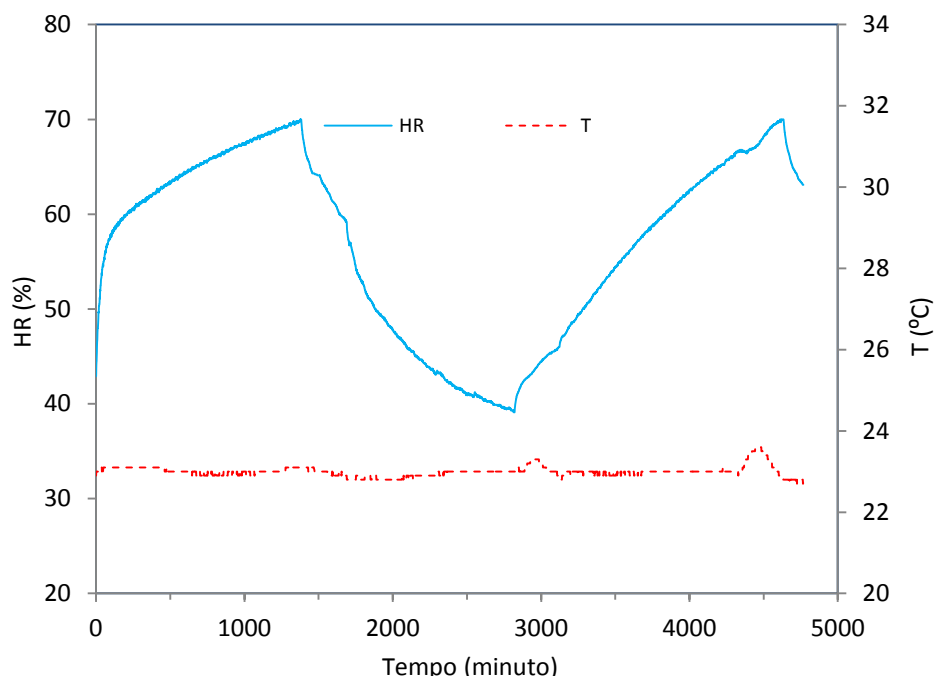


Gráfico 4.2 Variação da Humidade Relativa e Temperatura em função do tempo durante os dois ensaios efectuados consecutivamente sob a mesma placa B.



Nestes ensaios as placas de gesso foram submetidas a uma humidade de cerca de 70 %, mantendo uma temperatura praticamente constante em cerca de 23 °C, como se pode verificar nos Gráficos 4.1 e 4.2.

Como se pode observar, no acondicionamento do ensaio 2 da placa A ocorreu um pico da temperatura, causado pela incidência solar na câmara de teste. Este aumento da temperatura reflectiu-se na obtenção de um valor médio da temperatura mais elevado neste acondicionamento.

Os valores contínuos da T e HR dos ensaios das placas C e D serão apresentados no Anexo A. Não foi possível obter resultados para a placa E, por ter ocorrido uma avaria da sonda de H_2S .

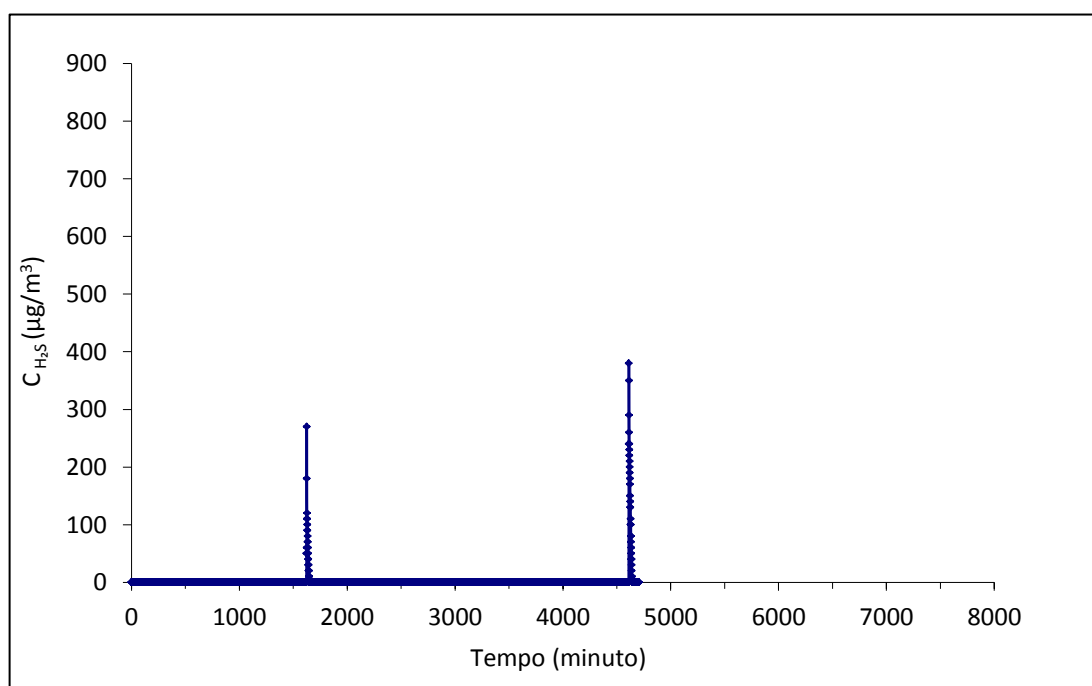
As temperaturas médias e os respectivos desvios-padrão na câmara durante as diferentes fases do ensaio são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Temperaturas médias e os desvios-padrão da câmara de teste durante as diferentes fases dos ensaios às placas de gesso cartonado.

Amostra	Fase	T (°C)	Desvio-padrão
A	Acondicionamento Ensaio 1	22.6	± 0.13
	Medição Ensaio 1	22.5	± 0.06
	Acondicionamento Ensaio 2	23.5	± 1.29
	Medição Ensaio 2	23.2	± 0.14
B	Acondicionamento Ensaio 1	23.0	± 0.07
	Medição Ensaio 1	22.9	± 0.10
	Acondicionamento Ensaio 2	23.0	± 0.16
	Medição Ensaio 2	22.8	± 0.03
C	Acondicionamento Ensaio 1	22.8	± 0.19
	Medição Ensaio 1	22.8	± 0.05
	Acondicionamento Ensaio 2	22.9	± 0.98
	Medição Ensaio 2	21.8	± 0.50
D	Acondicionamento Ensaio 1	23.0	± 0.95
	Medição Ensaio 1	22.1	± 0.60
	Acondicionamento Ensaio 2	22.1	± 0.53
	Medição Ensaio 2	22.9	± 0.47

No Gráfico 4.3 são apresentados os valores da concentração em função do tempo de H₂S para a placa A obtidos nos dois ensaios em função do tempo.

Gráfico 4.3 Variação da concentração de H₂S (µg/m³) em função do tempo observada para a placa A durante todo o tempo de acondicionamento e dos dois ensaios.



Constata-se pelo Gráfico 4.3, a existência de picos da concentração de H_2S nos dois ensaios.

Nos Gráficos 4.4 e 4.5 apresentam-se as concentrações dos dois ciclos de emissão de H_2S com mais detalhe para a placa A.

Gráfico 4.4 Variação da concentração de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) em função do tempo observada para a placa A durante o ensaio 1.

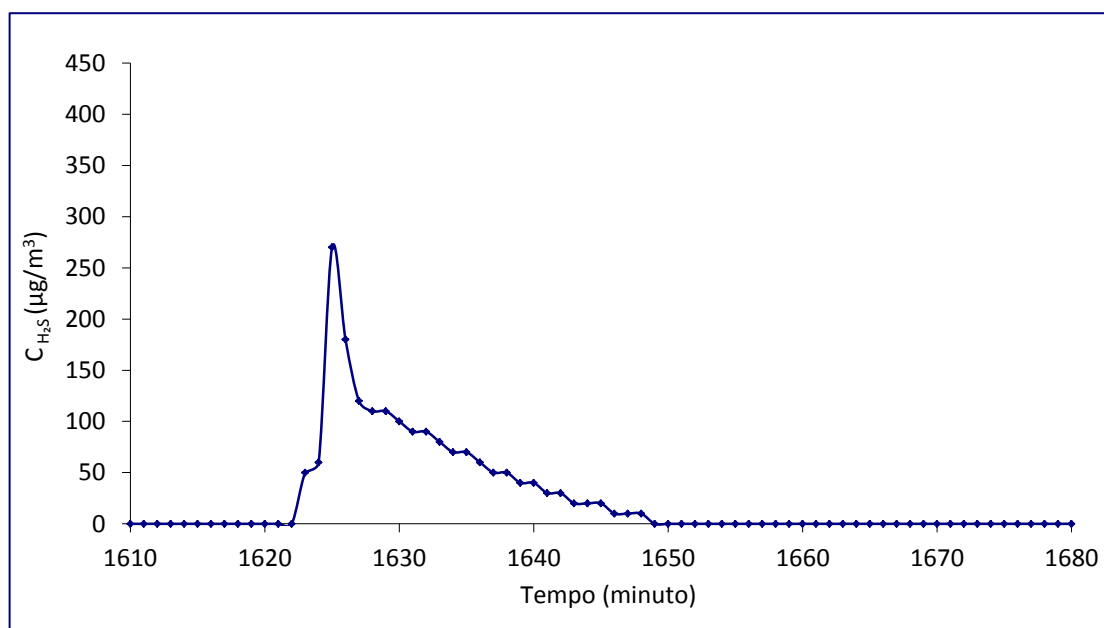
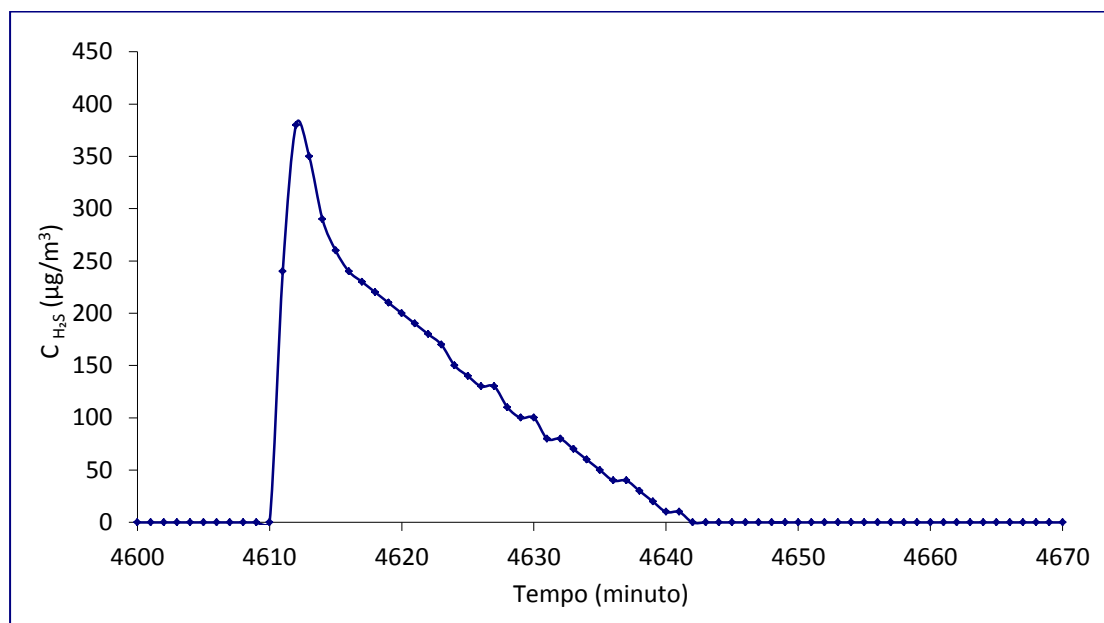


Gráfico 4.5 Variação da concentração de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) em função do tempo observada para a placa A durante o ensaio 2.



É de notar pelos Gráficos 4.4 e 4.5 que o tempo necessário para que os valores da concentração de H_2S decresçam até zero são aproximados para os dois ensaios, embora o ensaio 2 registre valores superiores em relação ao ensaio 1.

Os dados das concentrações de H_2S em função do tempo para as placas B, C e D encontram-se representados nos Gráficos 4.6, 4.7 e 4.8 respectivamente.

Gráfico 4.6 Variação das concentrações de H_2S em função do tempo para a placa B na câmara de teste.

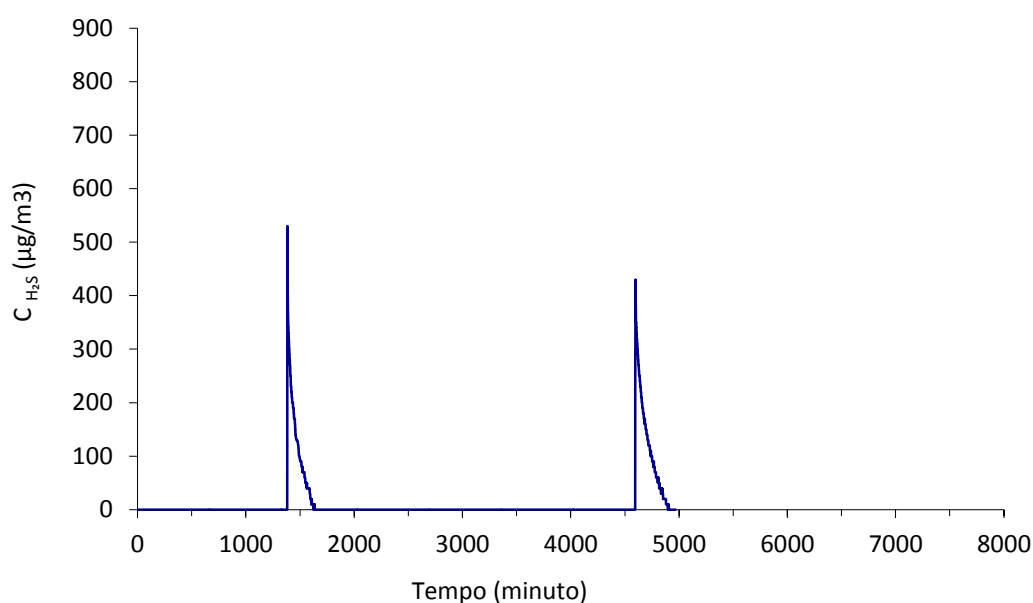


Gráfico 4.7 Variação das concentrações de H_2S em função do tempo para a placa C na câmara de teste.

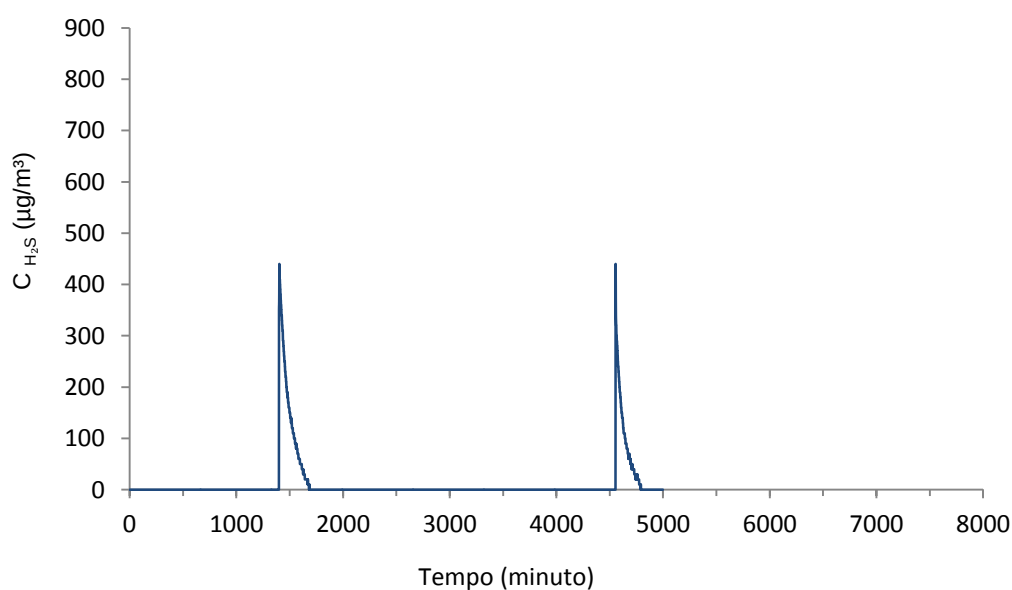
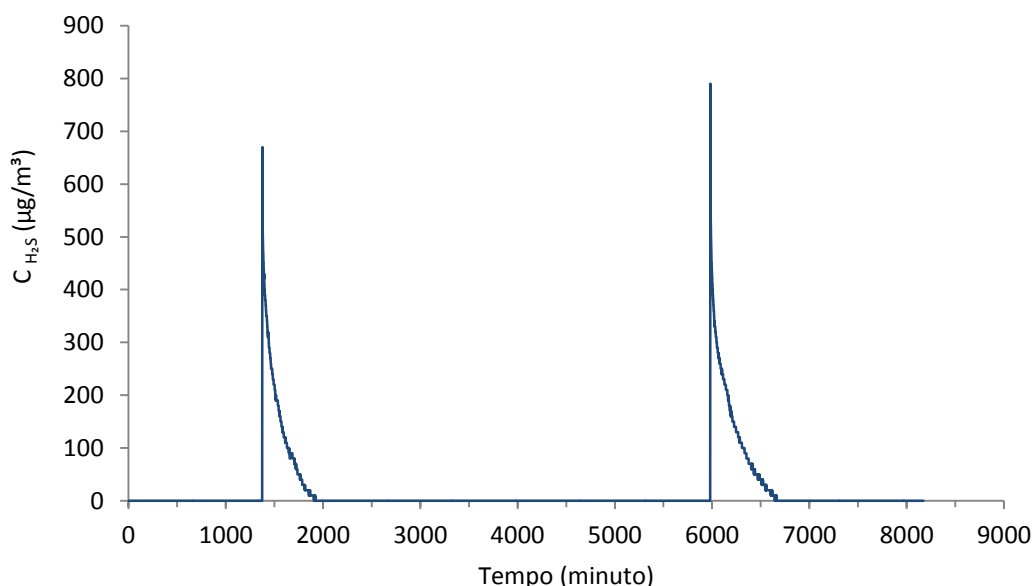


Gráfico 4.8 Variação das concentrações de H₂S em função do tempo para a placa D na câmara de teste.



Na Tabela seguinte são apresentados os valores máximos das concentrações de H₂S registados nos dois ensaios e os parâmetros ambientais na câmara de teste desse momento, assim como o tempo necessário para que a concentração decresça até zero nas quatro placas analisadas.

Tabela 4.2 Valores máximos da concentração de H₂S registados durante os ensaios das placas de gesso cartonado, parâmetros ambientais associados e tempo total para que a concentração decresça até zero.

Amostras	Fases	C máx. H ₂ S (µg/m ³)	T (°C)	HR (%)	Tempo (min)
A	Ensaio 1	270	22.4	70.3	23
	Ensaio 2	380	23.4	71.1	30
B	Ensaio 1	530	23.1	69.7	215
	Ensaio 2	430	23.0	69.8	309
C	Ensaio 1	440	22.8	70.9	287
	Ensaio 2	440	23.7	72.3	238
D	Ensaio 1	670	24.8	72.0	545
	Ensaio 2	790	22.2	70.1	684

Pela análise da Tabela 4.2, conclui-se que: a placa D apresenta nos dois ensaios maior concentração de H₂S e maior tempo para que este valor decresça até ao zero, enquanto a placa

A registou valores inferiores das concentrações bem como também valores do tempo de decaimento. As placas B e C registaram valores intermédios das concentrações e do tempo de decaimento.

Relativamente aos resultados obtidos nos dois ensaios consecutivos efectuados sob a mesma placa, verifica-se alguma variação entre ensaios. Nos resultados obtidos para as placas A e D as concentrações máximas dos segundos ensaios são maiores do que os primeiros, e no caso da placa B observa-se o oposto

Nestes ensaios não faz sentido calcular o factor de emissão visto que os valores obtidos para as concentrações são resultado de uma pré-concentração forçada, obtida pela condições estáticas a que o material foi exposto na câmara de teste. No entanto pode ser efectuada uma análise qualitativa das emissões das várias placas, uma vez que foram todas sujeitas a condições similares, no sentido de observar qual das placas terá uma emissão mais elevada. Pelos resultados apresentados na Tabela 4.2 verifica-se que a placa D apresenta o valor médio de concentração de H₂S mais elevado, observando-se a seguinte relação:

$$D > B > C > A$$

4.2 Resultados obtidos sob a influência das variações da temperatura e humidade relativa

Em seguida será apresentada a variação da temperatura e humidade relativa para placa D (Gráfico 4.9, 4.10 e 4.11) em três tipos de casos estudados respectivamente.

- a) Aumento da temperatura e aumento da humidade relativa
- b) Aumento da temperatura e humidade relativa constante
- c) Temperatura constante e diminuição da humidade relativa

Gráfico 4.9 Evolução da humidade relativa, temperatura e concentração de H_2S em função do tempo para a placa D sob condição a).

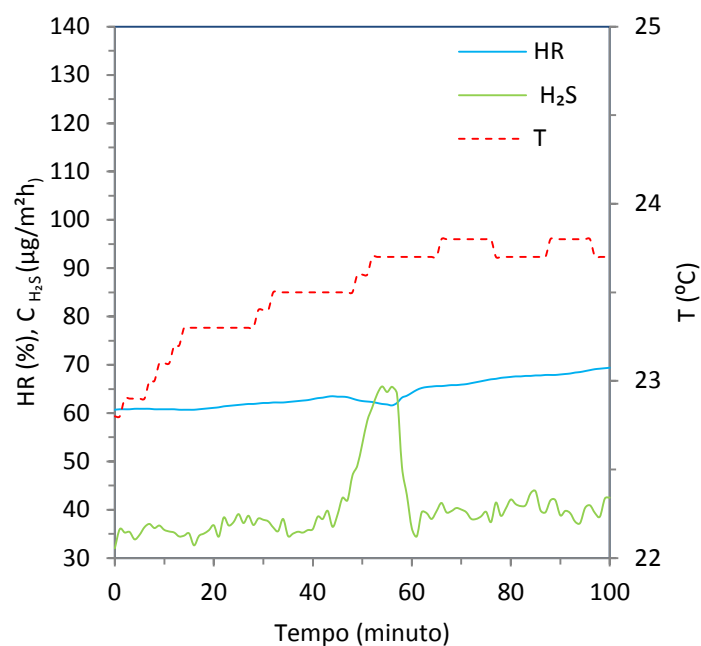


Gráfico 4.10 Evolução da humidade relativa, temperatura e concentração de H_2S em função do tempo para a placa D sob condição b).

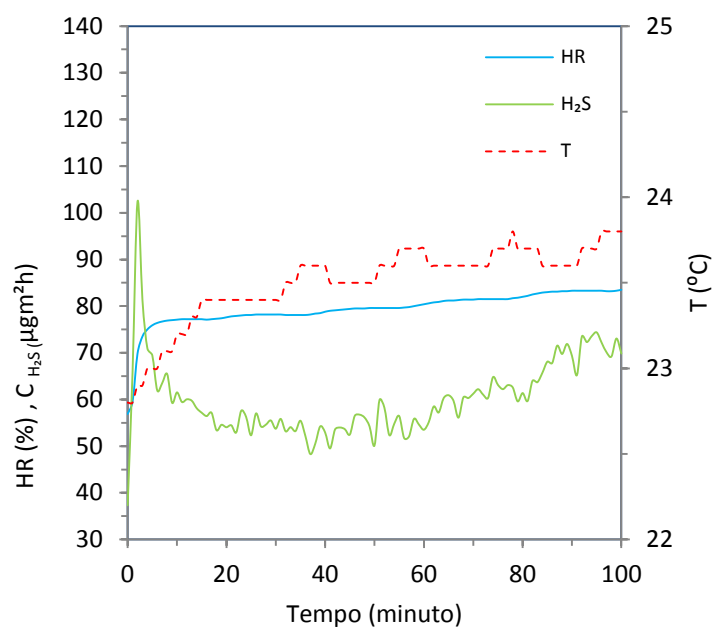
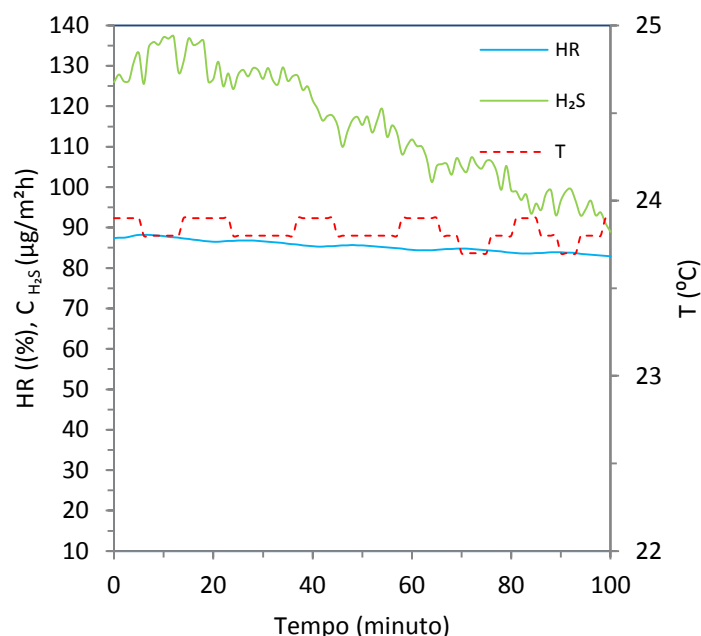


Gráfico 4.11 Evolução da humidade relativa, temperatura e concentração de H_2S em função do tempo para a placa D sob condição c).



Observa-se nos Gráficos 4.9, 4.10.e 4.11 a influência da humidade relativa e a temperatura sobre a placa na variação da concentração de H_2S . No Gráfico 4.9 é visível um pico na concentração de H_2S que não tem uma explicação lógica, e que poderá ser devido a uma flutuação da própria sonda, ou a uma variação momentânea da taxa de ventilação da câmara de teste. Ignorando esse facto, pode observar-se que existe uma relação no mesmo sentido entre a variação da concentração de H_2S na câmara de teste e a variação da humidade relativa, ou seja observam-se valores de concentração mais elevados quando o valor de *HR* é mais elevado.

4.3 Resultados obtidos sob a influência de gradientes de humidade

Nos Gráficos 4.12 e 4.13 encontra-se representada a variação da Temperatura (T) e Humidade Relativa (HR) nos ensaios das placas A e B em função do tempo.

Gráfico 4.12 Variação da Humidade Relativa e Temperatura em função do tempo durante as duas fases de ensaio para a placa A.

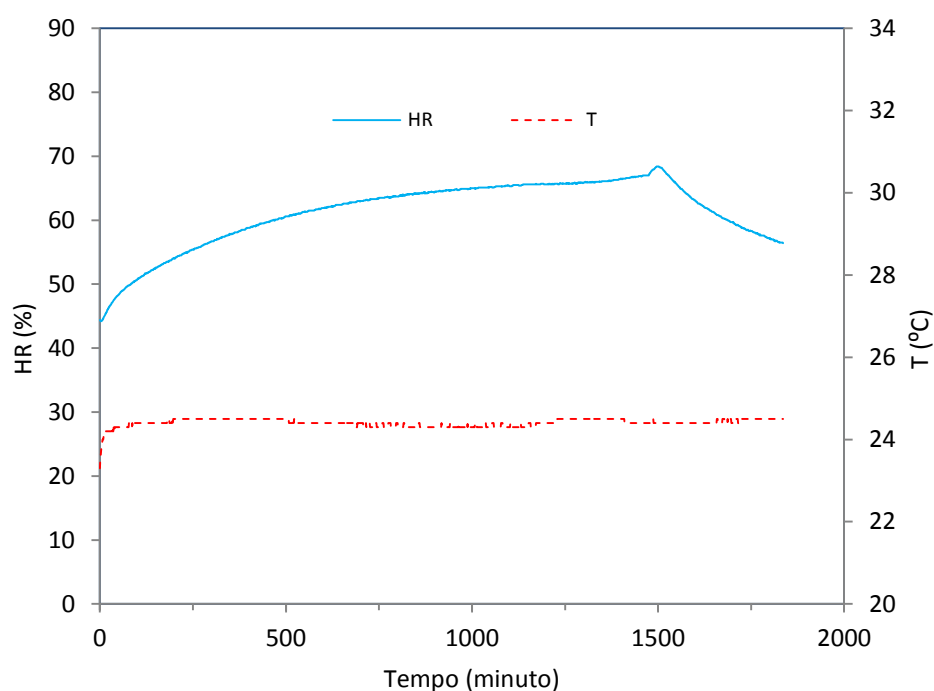
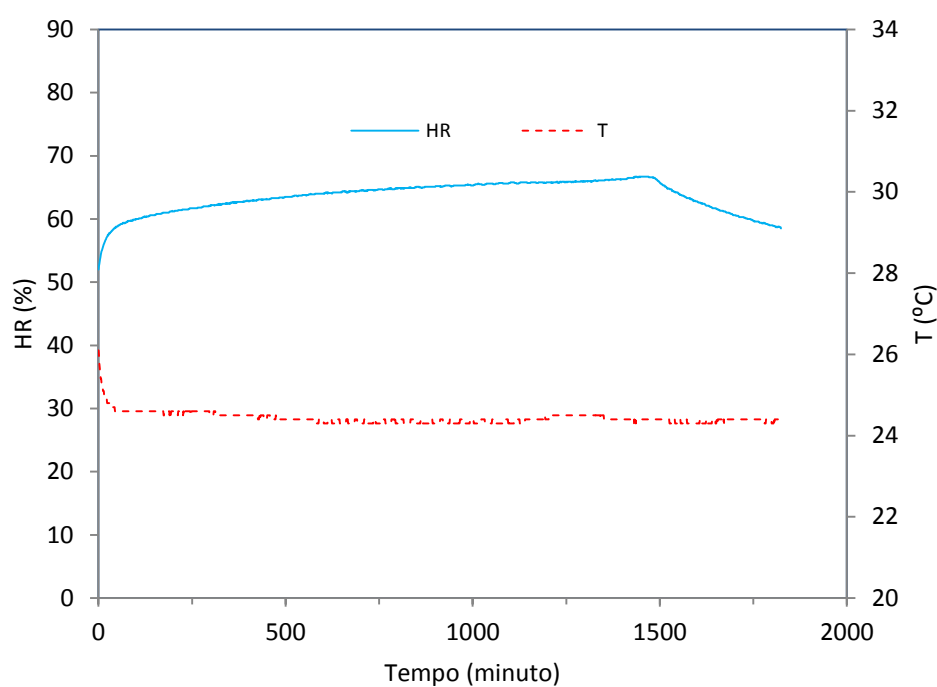


Gráfico 4.13 Variação da Humidade Relativa e Temperatura em função do tempo durante as duas fases de ensaio para a placa B



Nestes ensaios as placas de gesso foram submetidas a uma humidade de cerca de 70 %, mantendo uma temperatura praticamente constante em cerca de 25 °C, como se pode verificar nos Gráficos 4.12 e 4.13.

Os valores da *T* e da *HR* dos ensaios das placas C, D e E encontram-se no anexo B.

As temperaturas médias e os respectivos desvios-padrão na câmara durante as diferentes fases do ensaio são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 Temperaturas médias e os desvios-padrão da câmara de teste durante as diferentes fases dos ensaios às placas de gesso cartonado.

Amostra	Fase	<i>T</i> (°C)	Desvio-padrão
A	Acondicionamento	24,4	± 0,10
	Medição	24,7	± 0,55
B	Acondicionamento	24,4	± 0,16
	Medição	24,4	± 0,05
C	Acondicionamento	24,4	± 0,08
	Medição	24,4	± 0,02
D	Acondicionamento	24,3	± 0,11
	Medição	24,2	± 0,04
E	Acondicionamento	24,3	± 0,16
	Medição	24,3	± 0,06

Nos Gráficos 4.14 a 4.18 estão apresentados os valores da concentração em função do tempo de H₂S para a placa A, B, C, D e E.

Gráfico 4.14 Variação das concentrações de H₂S em função do tempo da placa A na câmara de teste.

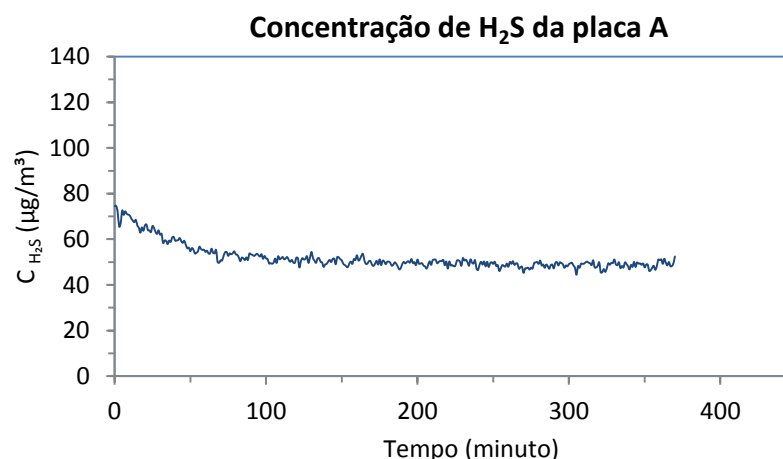


Gráfico 4.15 Variação das concentrações de H_2S em função do tempo da placa B na câmara de teste.

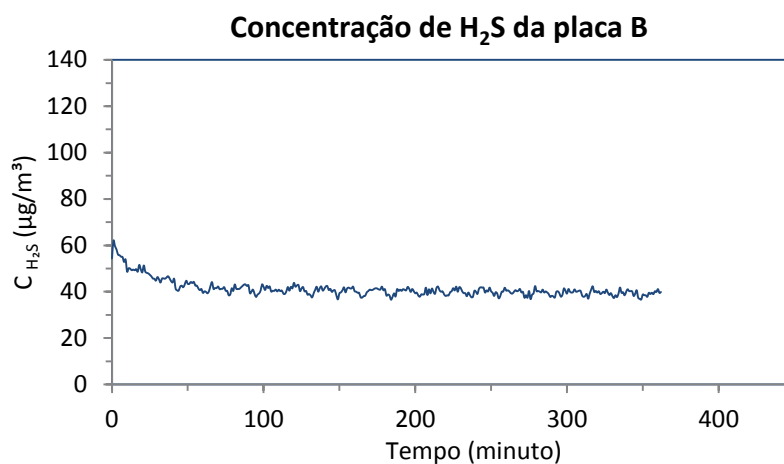


Gráfico 4.16 Variação das concentrações de H_2S em função do tempo da placa C na câmara de teste.

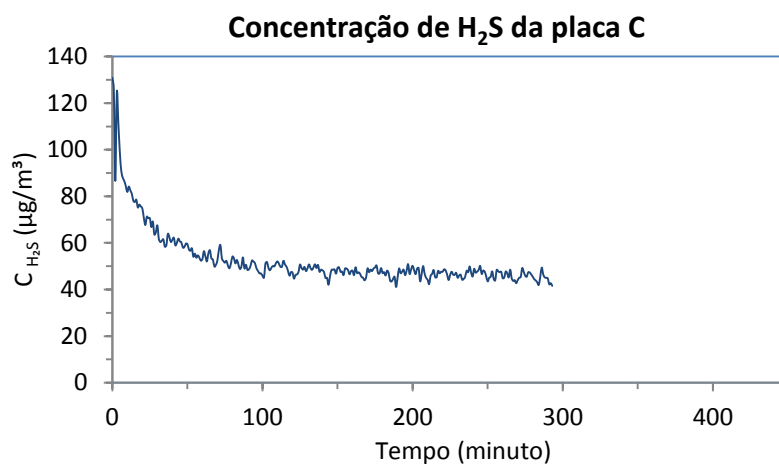


Gráfico 4.17 Variação das concentrações de H_2S em função do tempo da placa D na câmara de teste

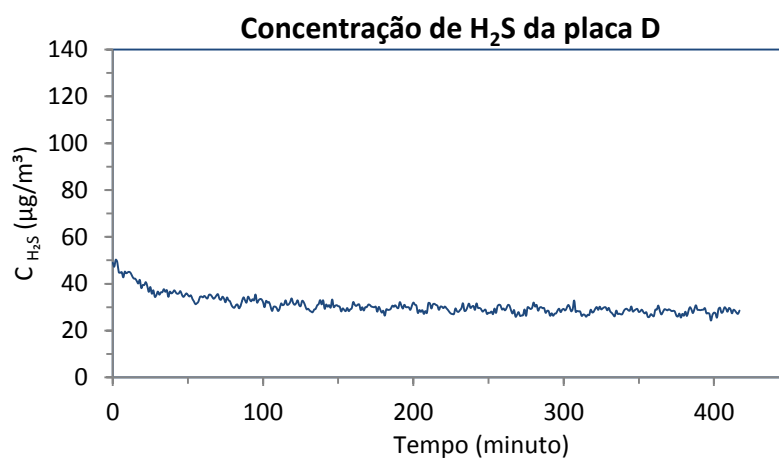
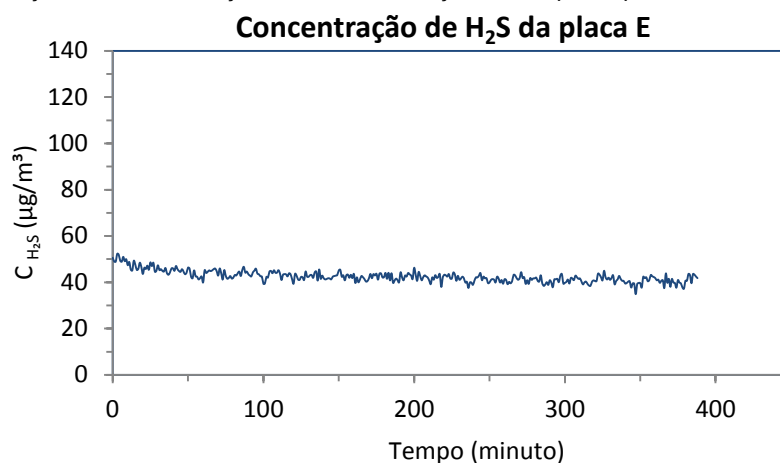


Gráfico 4.18 Variação das concentrações de H₂S em função do tempo da placa C na câmara de teste



Como se pode verificar nos gráficos anteriores, os valores das concentrações de H₂S diminuem gradualmente e tendem a estabilizar num valor sensivelmente constante.

Assumindo uma estabilização dos valores das concentrações por volta dos 250 minutos, obtêm-se os valores apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Valores da concentração de H₂S para as placas A, B, C, D e E aos 250 minutos.

Placas	A	B	C	D	E
C _{H₂S} (µg/m ³)	49,02	40,16	43,46	27,63	39,93

Já no final dos testes, constatou-se que o instrumento de medida da concentração de H₂S tinha uma elevada sensibilidade à humidade, o que inviabilizou uma análise quantitativa dos dados obtidos. No entanto pode ser efectuada uma análise qualitativa das emissões das várias placas, uma vez que foram todas sujeitas a gradientes similares, no sentido de observar qual das placas terá uma emissão mais elevada.

Pelos resultados apresentados na Tabela 4.4 verifica-se que a placa A apresenta o valor médio de concentração de H₂S mais elevado, observando-se a seguinte relação:

$$A > C > B > E > D$$

4.4 Resultados obtidos sob condições constantes de humidade e de temperatura

Em condições de temperatura e de humidade relativa constantes e admitindo que os efeitos de adsorção de H₂S por parte das superfícies interiores da câmara de teste é negligenciável, é de esperar também taxas de emissão constantes por parte das placas, resultando uma aproximação às condições de regime permanente do tipo exponencial:

$$\text{➤ } C - C_0 = \frac{L}{n} FE (1 - e^{-nt}) \quad (2.6)$$

Situação idêntica ocorre a partir do momento em que é retirada a placa de gesso do interior da câmara de teste com o processo a decorrer em regime permanente. Aí, o processo entra em regime dinâmico desencadeado pela ausência repentina da fonte emissora.

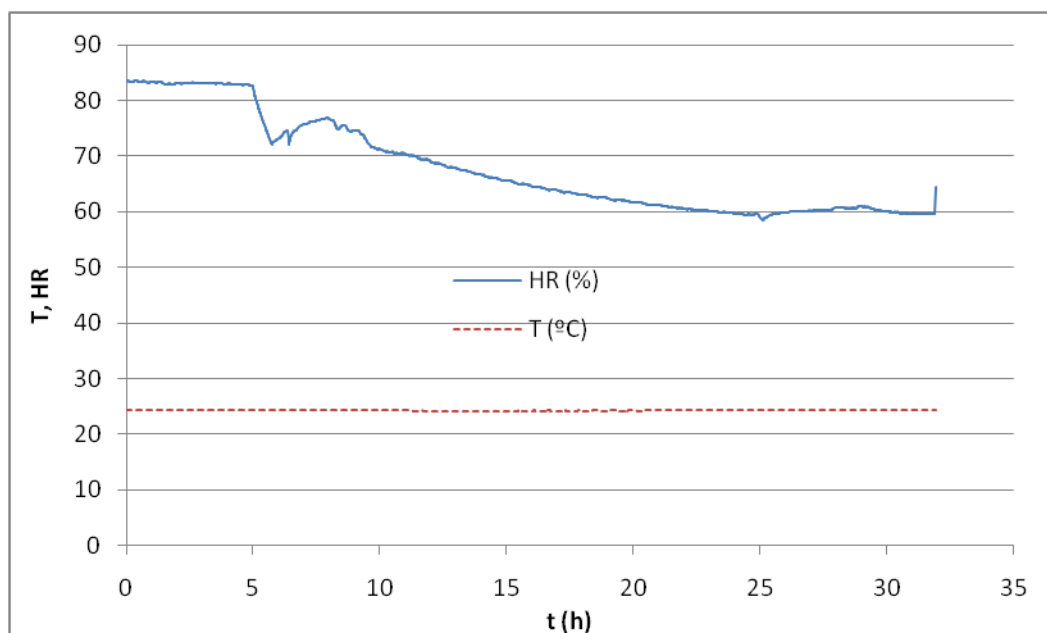
Para um intervalo de tempo suficientemente elevado a concentração tende para o seu valor de equilíbrio (C_∞) e, nessas condições, o factor de emissão (ou taxa de emissão) vem dado por

$$\text{➤ } FE = \frac{n}{L} (C_0 - C_\infty) \quad (4.1)$$

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos para os dois últimos testes que foram efectuados nestas condições para a placa D e A respectivamente.

No Gráfico 4.19 apresenta-se a variação da temperatura e a variação da humidade relativa na câmara de teste para a placa D. Em que o objectivo foi manter a humidade relativa e temperatura constante de modo a obter o factor de emissão de H₂S.

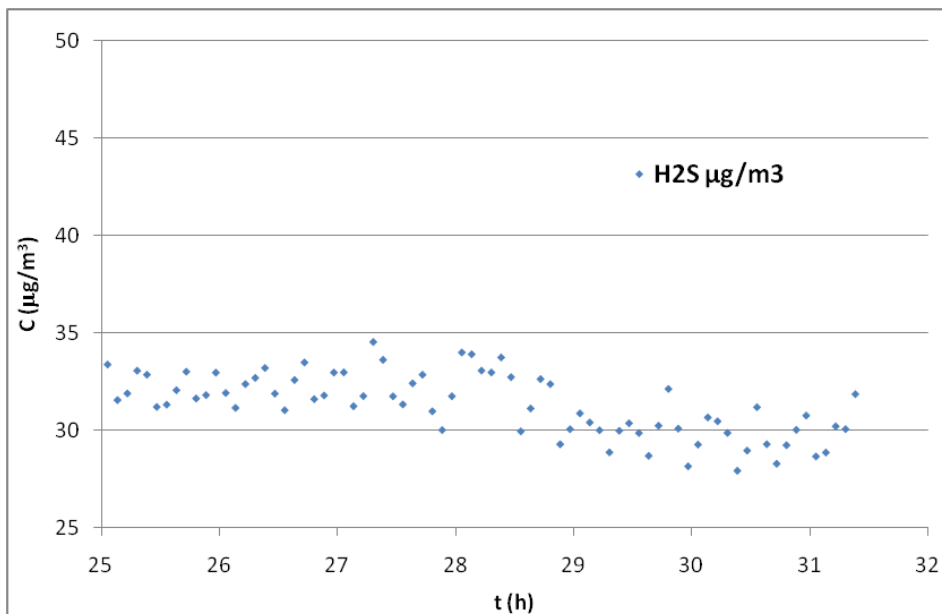
Gráfico 4.19 Evolução da humidade e da temperatura em função do tempo para a placa D.



Verifica-se no Gráfico 4.19 uma diminuição de humidade relativa e estabilizando (nos 60 %) na parte final do ensaio, enquanto a temperatura é mantida constante.

A medição da concentração de H₂S só foi realizada no momento em que a humidade relativa apresentava valores à volta dos 60 %. No Gráfico 4.20 representa-se a evolução da concentração de H₂S em função do tempo, notando-se a redução após a retirada da placa de gesso do interior da câmara de teste.

Gráfico 4.20 Evolução da concentração de H₂S (µg/m³) em função do tempo – placa D.

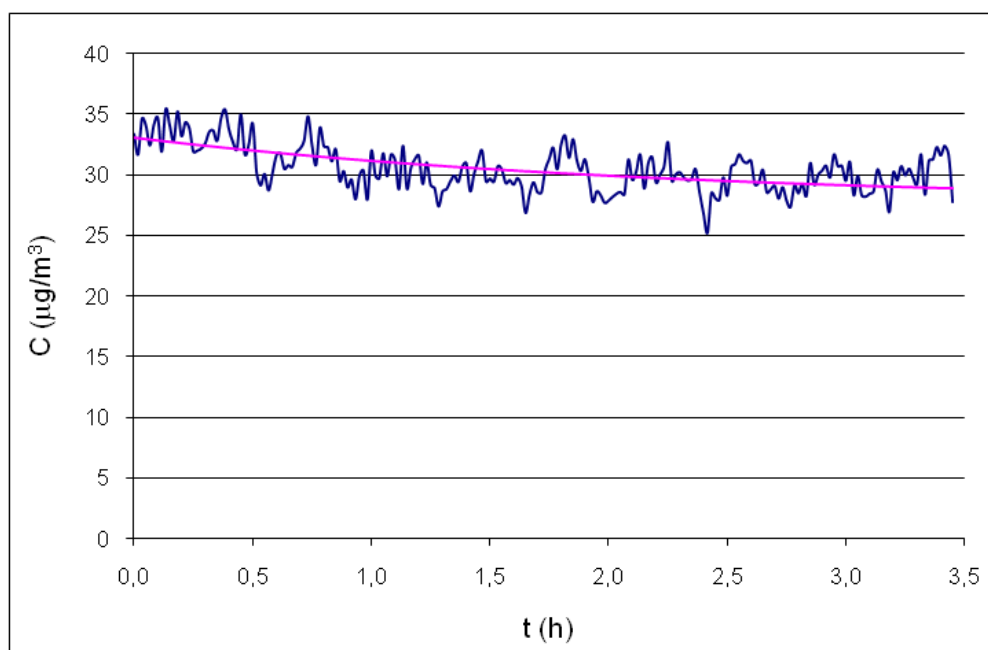


Para os valores obtidos da concentração de H₂S no Gráfico 4.20 pode considerar três zonas: estabilização nos 32,5 (µg/m³) de 25 a 28 horas, transição dos 32,5 a 30 (µg/m³) de 28 a 29 horas e estabilização nos 30 (µg/m³) de 29 a 31 horas.

A aplicação da equação 4.1 permitiu obter um valor para o factor de emissão de 1,9 µg/(m².h). No entanto, foi possível observar que o regime permanente ainda não tinha sido totalmente atingido, pelo que se recorreu à análise dinâmica para estimar a concentração de equilíbrio para este caso, obtendo-se o valor de 27,7 (µg/m³).

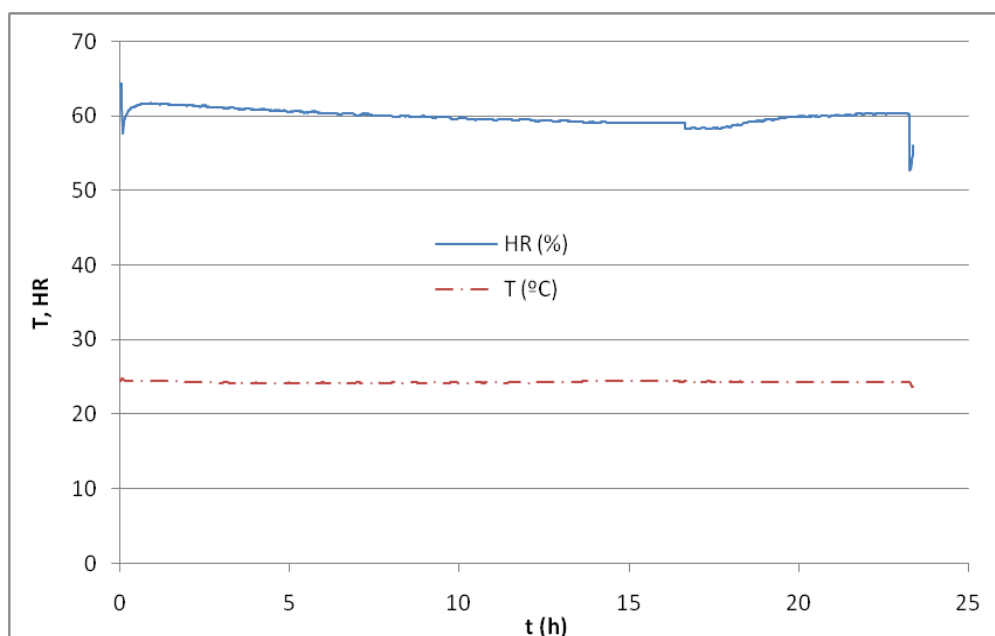
No Gráfico 4.21 mostra-se o ajustamento do modelo matemático aos dados experimentais efectuado através do programa Excel que permitiu estimar a concentração de equilíbrio.

Gráfico 4.21 Ajuste aos dados da concentração de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) após ser retirada a placa D.



No Gráfico 4.22 representa-se a os valores da T e HR da câmara de teste para a placa A em função do tempo.

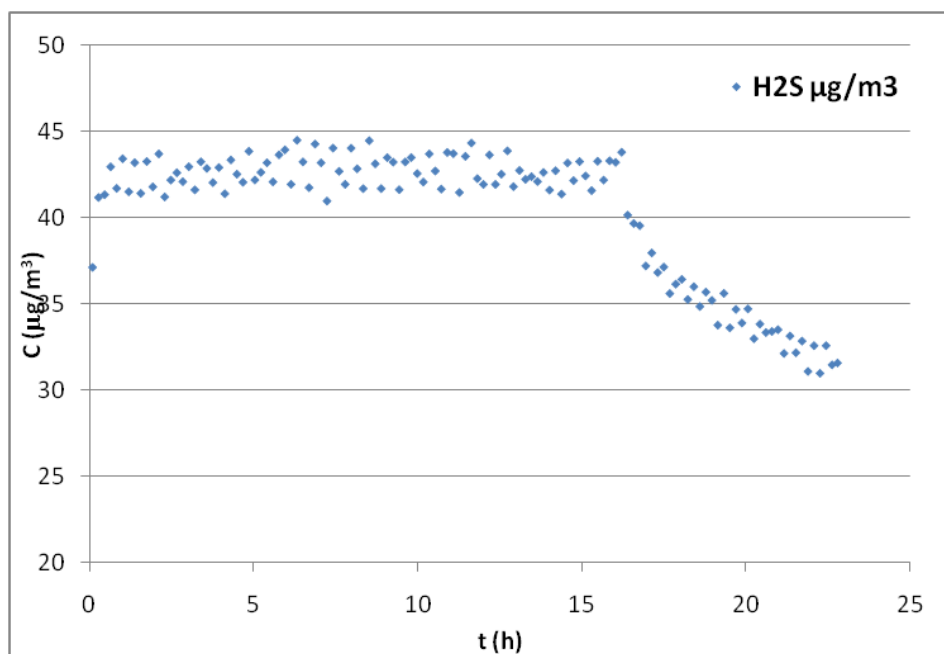
Gráfico 4.22 Evolução da humidade e da temperatura em função do tempo para a placa A.



Como se constata pelo Gráfico 4.22, a temperatura mantém-se constante (cerca de $24,5\text{ }^\circ\text{C}$) e a humidade relativa próxima dos 60 % dentro da câmara de teste.

A evolução da concentração de H_2S em função do tempo é demonstrada no Gráfico 4.23, notando-se a redução após a retirada da placa de gesso do interior da câmara de teste.

Gráfico 4.23 Evolução da concentração de H_2S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) em função do tempo – placa A



Pelo Gráfico 4.23 verifica-se que a concentração de H_2S registada na câmara para a placa A durante 15 horas se mantém à volta dos $42,5\text{ }(\mu\text{g}/\text{m}^3)$.

Neste caso, o regime permanente foi praticamente atingido, tendo-se obtido um valor para o factor de emissão de $4,5\text{ }(\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))$, por aplicação da equação 4.1.

4.5 Comparação dos Resultados obtidos nos diversos ensaios realizados

Comparam-se de seguida todos os resultados obtidos para a concentração relativa de H₂S resultante da emissão pelas placas nos diferentes ensaios efectuados:

1. Ensaio realizado em condições de acumulação (sem ventilação).

$$D > B > C > A$$

2. Ensaio com ventilação e com as placas sujeitas a um gradiente de humidade

$$A > C > B > E > D$$

3. Ensaio com ventilação e sob condições constantes de humidade e de temperatura

$$A > D$$

Pode observar-se que os resultados obtidos pelos ensaios com ventilação e com as placas sujeitas a um gradiente de humidade e os ensaios obtidos em condições de ventilação mas com condições constantes de humidade e temperatura conduziram aos mesmos valores relativos, isto é a placa A mostrou ter mais emissões de H₂S que a placa D.

Já o ensaio realizado em condições de acumulação conduziu a resultados completamente opostos aos dos outros métodos.

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

A questão da QAI é importante, justificando que se continue a investigar as causas que contribuem para a emissão de poluentes, nomeadamente pelos materiais de construção, e, no âmbito deste estudo, da emissão de compostos sulfurosos por placas de gesso cartonado.

Beneficiando-se do conhecimento e dos equipamentos existentes no LQAI, desenvolveram-se métodos experimentais que permitiram comprovar a emissão de H₂S pelas placas de gesso, embora em quantidades reduzidas, tendo sido possível quantificar os factores de emissão em dois dos ensaios efectuados.

Em geral, os fenómenos de transferência são influenciados pela pressão e pela temperatura e por vezes pela humidade relativa. No caso das emissões de H₂S pelas placas de gesso é assumida [23] a influência da temperatura e, em particular da humidade relativa. Os primeiros ensaios efectuados no âmbito deste trabalho comprovaram nitidamente o efeito da humidade relativa, isto, para além da questão central que é a influência decisiva da natureza do próprio material na emissão de H₂S. A este respeito há que referir como factor relevante para as emissões, que é a origem da matéria-prima usada para o fabrico das placas.

Em virtude das referidas dificuldades na obtenção do factor de emissão credíveis para as placas de gesso cartonado, pôde-se constatar, embora no final dos ensaios a sensibilidade do Dispositivo TG-502 da *Gray Wol* utilizado para as medições da concentração de H₂S na câmara de teste quanto à humidade relativa, obrigando assim uma realização do ensaio com humidade relativa constante de modo a quantificar o factor de emissão de H₂S para as placas A e D no último ensaio efectuado.

O resultado obtido no último ensaio para as placas A e D permitiu concluir a emissão de H₂S, embora em valores pequenos, sendo a placa A a que possui maior emissão.

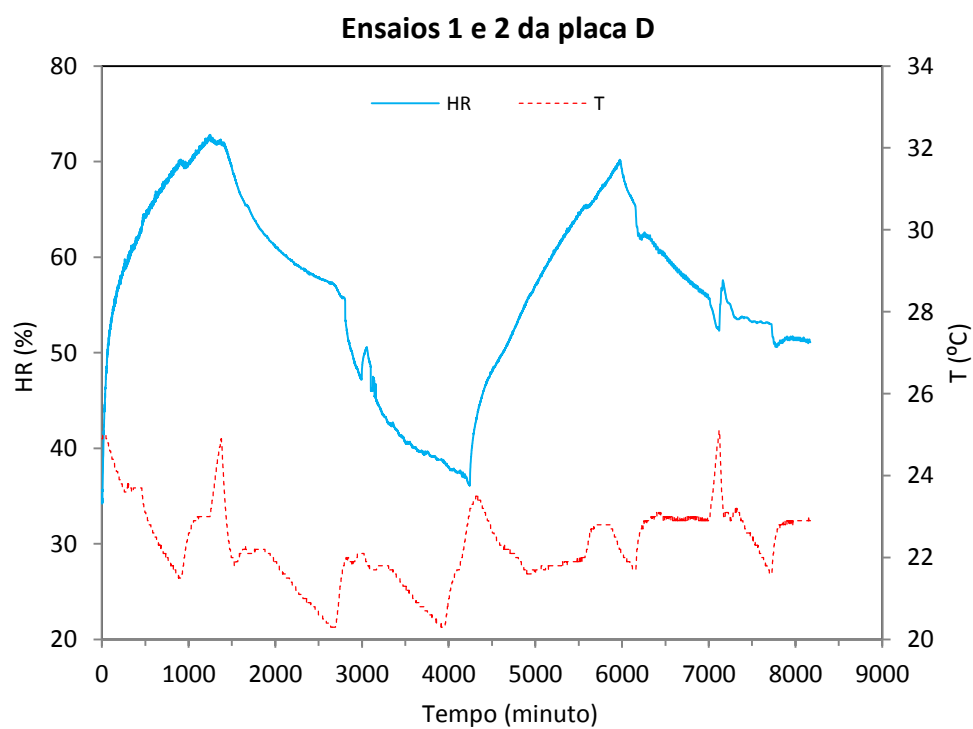
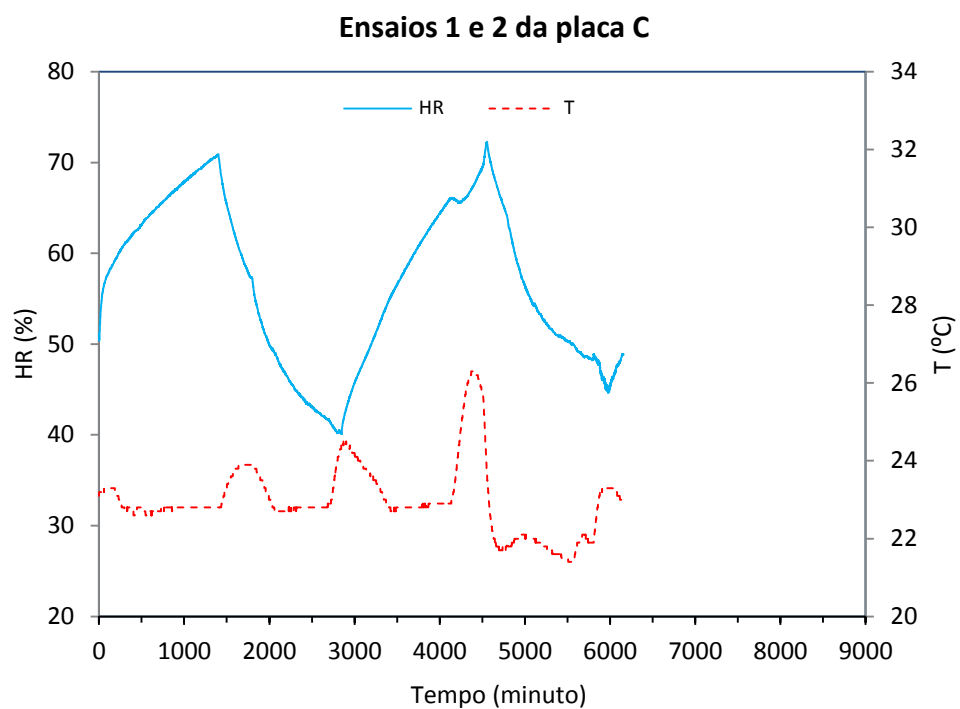
A caracterização das emissões de H₂S pelas placas de gesso cartonado revelou-se uma tarefa difícil pelo facto deste material apresentar propriedades higroscópicas, não sendo fácil conseguir condições de HR constantes durante os ensaios. As baixas emissões de H₂S reveladas agravaram sem dúvida as dificuldades encontradas. Serão necessários mais ensaios com diferentes placas de gesso cartonado no sentido de comprovar o método desenvolvido como um método credível e capaz de quantificar as emissões de H₂S.

6 Bibliografia

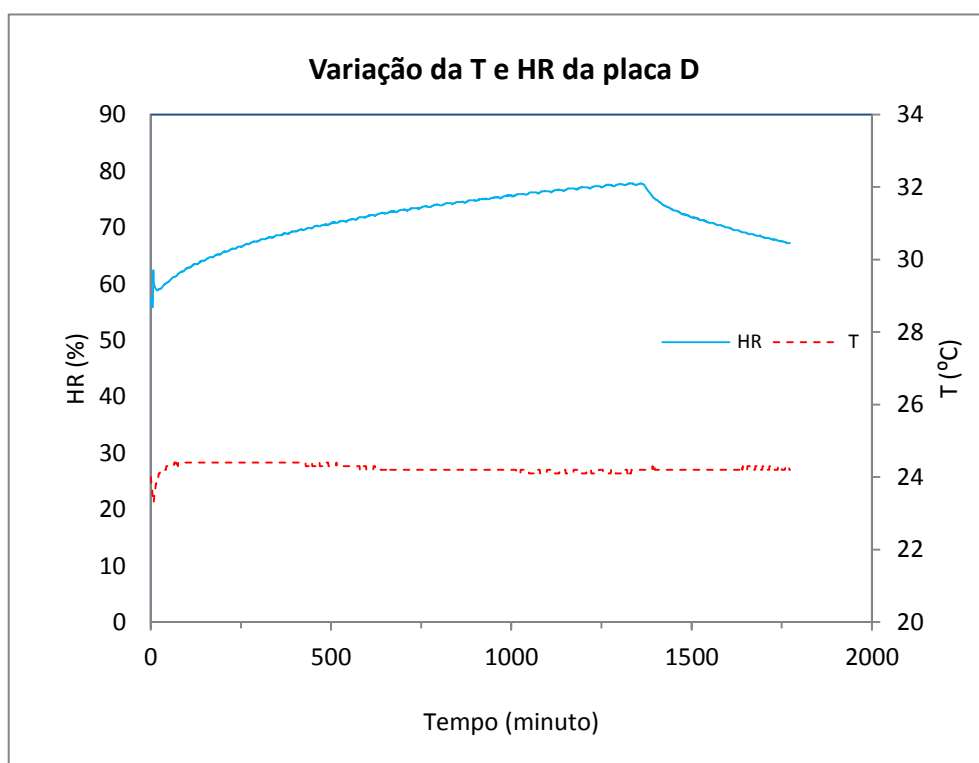
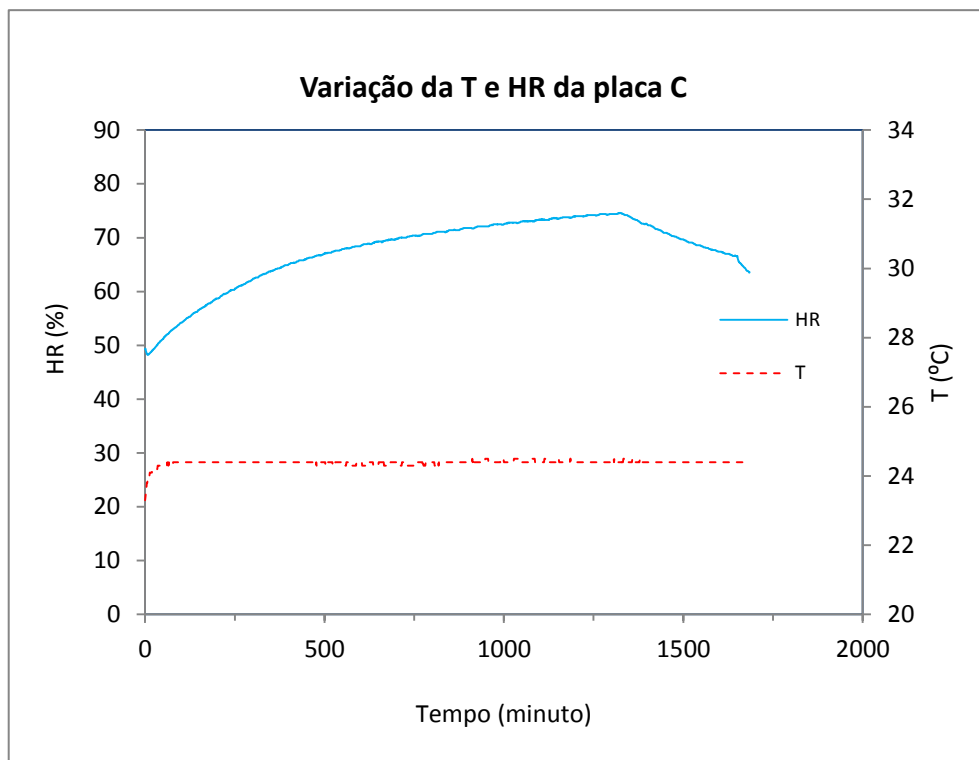
- [1] <http://www.apambiente.pt/politicasantambiente/Ar/QualidadeArInterior/OqueeaQAI/Paginas/default.aspx>
- [2] Horvath, E.P., 1997. Building-related illness and sick building syndrome: from the specific to the vague. *Cleveland Clinical Journal of Medicine*, 64 (6): 303-309.
- [3] Lagercrantz, L., Wistrand, M., Willen, U., Wargocki, P., Witterseh, T. and Sundell, J., 2000. Negative impact of air pollution on productivity: previous Danish findings repeated in new Swedish test room. Paper for *Healthy Buildings 2000*, Espoo, Finland, August 2000.
- [4] Seltzer, J.M., 1997. Sources, concentrations and assessment of indoor air pollution. In: Bardana, E.J., Montanaro, A. (Eds), *Indoor Air Pollution and Health*. Marcel Dekker, New York, pp. 11-60.
- [5] Elkhuisen, P. A, Bluysen, P.M. e Groes, L., 1995. A new approach to determine the performance of a trained sensory panel. In *Healthy Buildings'95*. Marco Maroni (Ed). University of Milano and International Centre for Pesticide Safety, Milano, 3: 1365-137.
- [6] Magalhães D., “Métodos para Determinação do Coeficiente de Difusão de COVs em Materiais de Construção”. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.
- [7] U.S. EPA. 1994. EPA health effects notebook for hazardous air pollutants-draft. Air Risk Information Support Center, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA-452/D-95-00. U.S. EPA Air Toxics web site: <http://www.epa.gov/ttn/atw/>.
- [8] Bluysen, PM., de Oliveira Fernandes, E., Groes, L., Clausen, G., Fanger, P.O., Valborn, O., Bernhard, C.A and Roulet, C.A. (1996). “European indoor air quality audit project in 56 office buildings”. *Indoor Air*, 6, 221-238.
- [9] ASHRAE (1997), *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- [10] Souto, J. “Impacto dos filtros na qualidade do ar interior”, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1999.
- [11] Martins A., Auditorias Ambientais – Parâmetros Físicos e Químicos , Seminário: “Qualidade do Ar Interior – novas problemáticas, novas políticas, novas praticas”, 2009.
- [12] J. Santos Baptista, “CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS – texto de apoio, curso de Engenharia de Minas e Geoambiente”, 2009.
- [13] Bauer L., “Materiais de construção”. Editora LTC, 2001
- [14] Festa, J., “LE PLÂTRE et ses applications traditionnelles et modernes”. Éditions Eyrolles, 1995.

- [15] Costes, Jean “LE PLATRE TRADITIONNEL ET MODERNE”. Éditions Eyrolles, 1974.
- [16] http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2007_TR650479_9888.pdf
- [17] Norma NP EN 12859:2008. Placas de gesso: Definições, requisitos e métodos de ensaios
- [18] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Pladur>
- [19] <http://www.buildinggreen.com/auth/article.cfm/2010/7/30/Synthetic-Gypsum/>
- [20] Pradyot Patnaik. *Handbook of Inorganic Chemicals*. McGraw-Hill, 2002.
- [21] <http://pt.scribd.com/doc/6646447/Palestra-Sobre-H2S>
- [22] ELSEVIER, “Hydrogen sulfide and carbonyl sulfide in the museum environment-Part1, www.elsevier.com/locate/atmosenv
- [23] CPSC, Staff Preliminary Evaluation of Drywall Chamber Test Results, Reactive Sulfur Gases, 2010
- [24] Journal of Hazardous Materials, “Inhibition of hydrogen sulfide generation from disposed gypsum drywall using chemical inhibitors”, 2011.
- [25] ECA (European Collaborative Action "Indoor Air Quality and its Impact on Man"), 1991a. Guideline for the characterization of volatile organic compounds emitted from indoor materials and products using small test chambers. Report Nr.8, EUR 13593 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities
- [26] Colombo, A, De Bortoli, M., Knoppel, H., Schauenburg H. e Vissers, H., 1990. Determination of volatile organic compounds emitted from household products in small test chambers and comparison with headspace analysis. In *Indoor Air'90*. D.S. Walkinshaw (Ed). Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, 3: 599-604.
- [27] Dunn, JE. e Tichenor B.A., 1988. Compensating for size effects in emissions test chambers by mathematical modeling. *Atmospheric Environment*, 22: 885-894.

7 ANEXO A: Valores contínuos da temperatura e humidade relativa dos dois ensaios das placas C e D.



8 ANEXO B: Valores contínuos da temperatura e humidade relativa das duas fases de ensaio das placas C, D e E



Caracterização das emissões de Sulfureto de Hidrogénio (H_2S) por placas
de gesso cartonado em câmaras de teste

