

Importância da Ventilação no Controlo do Risco de Condensações

PEDRO MIGUEL MATOS FERNANDES GARCIA PADRÃO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

JULHO DE 2022

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e Irmãos

Quando o esforço se torna um hábito, o sucesso torna-se constante.

Steve Jobs

AGRADECIMENTOS

Ao concluir a presente dissertação, gostaria de agradecer a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a sua realização.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas, orientador desta dissertação, por toda a disponibilidade, apoio e conhecimentos transmitidos.

Agradeço aos meus pais, pela oportunidade, por todo o apoio, pelo esforço constante, compreensão e motivação ao longo desta etapa da minha vida. Sem vocês, não teria sido possível.

Aos meus irmãos, pela paciência e apoio ao longo destes 5 anos.

Aos meus amigos de Bragança, por me terem acompanhado na realização de mais um ciclo da minha vida.

Aos amigos que a faculdade me presenteou, que, com toda a certeza, serão amigos que levarei para a vida, por toda a ajuda, companheirismo e lealdade.

Por último, agradecer também a todos os professores que se cruzaram comigo ao longo destes anos, por todos os conselhos e ensinamentos.

RESUMO

A ventilação do interior dos edifícios, não só garante uma boa qualidade do ar interior, conforto e bem-estar dos ocupantes, como também previne a ocorrência de patologias (condensações superficiais, desenvolvimento de fungos, entre outras.).

Uma das principais causas de problemas interiores de qualidade do ar, associada a elevadas quantidades de humidade, é o desenvolvimento de fungos. São várias condições ambientais envolvidas na base do desenvolvimento destes microrganismos, sobretudo a humidade relativa e a temperatura.

A condensação superficial é um fenómeno muito comum em habitações e a sua formação ocorre, maioritariamente, devido à má ventilação dos espaços. Por outro lado, por vezes este fenómeno é agravado devido às soluções construtivas dos edifícios.

Como tal, neste trabalho foi desenvolvido um modelo capaz de avaliar o risco de condensações, tendo em conta parâmetros interiores, exteriores e da envolvente. Foi também estudado, a partir do modelo desenvolvido, a importância e influência de fatores como, o coeficiente de transmissão térmica, da produção de vapor interior, da localização no território nacional, bem como o caudal de ventilação, no risco de condensações.

Foram abordados sistemas e dispositivos de ventilação, desde o conceito ao seu dimensionamento, apresentando também fichas técnicas com as características dos mesmos.

PALAVRAS-CHAVE: Condensações, Ventilação, Edifícios, Modelo, Risco.

ABSTRACT

Indoor ventilation in buildings not only ensures good indoor air quality, comfort and well-being of the occupants, but also prevents the occurrence of pathologies (mold development, surface condensation, among others.).

One of the main causes of indoor air quality problems and associated with high humidity is the development of fungi. Several environmental conditions are involved in the basis of the development of these microorganisms, especially relative humidity and temperature.

Surface condensation is a very common phenomenon in houses and its formation occurs mostly due to poor ventilation of spaces. On the other hand, sometimes this phenomenon is aggravated due to the constructive solutions of buildings.

As such, this work developed a model capable of evaluating the risk of condensation, taking into account indoor, outdoor and surrounding parameters. It was also studied, from the model developed, the importance and influence of factors such as the thermal transmission coefficient, the interior vapor production, the location in the national territory, as well as the ventilation flow, in the risk of condensation.

Ventilation systems and devices were addressed, from the concept to their design, presenting also technical data sheets with their characteristics.

KEYWORDS: Condensations, Ventilation, Buildings, Model, Risk.

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
 1.INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivo do trabalho	2
1.3. Organização e Estruturação do texto	2
 2.ESTADO DE ARTE	3
2.1. Fungos nos Edifícios	3
2.1.1. Princípios Gerais	3
2.1.2. Definição de Fungos	4
2.1.3. Como se desenvolvem os fungos	4
2.1.4. Modelos para o desenvolvimento de fungos	5
2.1.4.1. Modelo VTT	5
2.1.4.2. Modelo Isopletras	5
2.1.5. Fatores decisivos que influenciam a formação de fungos	6
2.1.5.1. Temperatura Superficial	6
2.1.5.2. Humidade Relativa	7
2.1.5.3. Substrato	7
2.1.5.4. Ambiente, Atmosfera e Luz Solar	8
2.1.6. Influência das pontes térmicas no aparecimento de fungos	9
2.1.7. Como prevenir a formação de fungos	11
2.2. Ventilação	11
2.2.1. Generalidades	11
2.2.2. Taxa de Ventilação	11
2.2.3. Normas e Regulamentação Portuguesa	12
2.2.3.1. Portaria 138-I/2021	12
2.2.3.2. NP 1037-1 (2002) – Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural	12
2.2.3.2.1. Generalidades e Exigências de ventilação	12
2.2.3.3. Caudais-tipo	13
2.2.3.4. Admissão de Ar	14
2.2.3.5. Passagens de ar interiores	15
2.2.3.6. Evacuação de ar	15

2.2.3.7. Dimensionamento da ventilação de fogo	16
2.2.4. Regulamentação de outros Países Europeus	18
2.2.4.1. Regulamentação Espanhola – “código Técnico de la Edificación”	18
2.2.4.2. Regulamentação Francesa – “Arrêté Du 24 Mars 1982 Disposition Relative á L’aération des Logements”	20
2.3. Síntese Crítica do Capítulo	21
3.MODELO SIMPLIFICADO DE AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONDENSAÇÕES	23
3.1. Introdução	23
3.2. Modelo de cálculo – Folha Excel	23
3.2.1. Cálculo da Pressão de vapor exterior	25
3.2.2. Cálculo da humidade absoluta exterior	26
3.2.3. Cálculo da Humidade absoluta interior	27
3.2.4. Cálculo da Pressão de vapor do ar interior	29
3.2.5. Cálculo da temperatura superficial do elemento	30
3.2.6. Cálculo da Pressão de vapor superficial interior	31
3.2.7. Avaliação do risco de ocorrência de condensações	32
3.3. Influência do clima exterior – Bragança, Porto e Lisboa	34
3.3.1. Bragança	34
3.3.2. Porto	38
3.3.3. Lisboa	41
3.3.4. Análise dos resultados obtidos	44
3.4. Síntese Crítica do Capítulo	44
4.DISPOSITIVOS DE ADMISSÃO E EXTRAÇÃO DE AR	45
4.1. Introdução	45
4.2. Conceito de sistemas de ventilação natural, mecânica e mista	45
4.3. Dimensionamento de sistemas de Ventilação Natural/Mista	46
4.3.1. Admissão de ar	46
4.3.1.1. Dispositivos de admissão de ar em parede de fachada	46
4.3.1.2. Permeabilidade ao ar de janelas e portas da envolvente	48
4.3.2. Dispositivos de passagem de ar interior	49
4.3.3. Extração de ar por ventilação natural	50
4.3.3.1. Aberturas de extração de ar	50
4.3.3.2. Conduatas de extração de ar	51
4.3.4. Ventiladores estáticos e eólicos	52
4.3.5. Extração de ar por ventilação mista	53
4.3.5.1. Dispositivos de extração de ar em cozinhas	53

4.3.5.2. Dispositivos de compensação de ar interior em cozinhas	53
4.3.6. Aparelhos a gás	54
4.4. Fichas de características técnicas.....	54
4.4.1. Características dispositivos de admissão.....	55
4.4.2. Características dispositivos de extração	59
4.4.3. Características de ventiladores	61
4.5. Síntese do capítulo.....	62
5.APLICAÇÃO DO MODELO DE RISCO DE CONDENSAÇÕES A UM CASO DE ESTUDO	63
5.1. Introdução.....	63
5.2. Descrição geral do edifício e da fração em estudo	63
5.3. Risco de condensações em função da produção de vapor interior.....	63
5.4. Risco de condensações em função da localização no território nacional.....	65
5.5. Importância da ventilação	67
5.6. Medidas de melhoria de ventilação para assegurar o caudal necessário	69
6.CONCLUSÕES.....	71
6.1. Considerações finais.....	71
6.2. Propostas para desenvolvimento futuro.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Presença de fungos [3].....	3
Figura 2 - Exemplo de micélio [6]	4
Figura 3 - Categorias de Fungos (Modelo Isopletras) (adaptado de [8]).....	6
Figura 4 - Desenvolvimento de fungos em função da temperatura [5]	7
Figura 5 - Desenvolvimento de fungos em função da humidade [5]	7
Figura 6 - Desenvolvimento de fungos em função da qualidade do substrato [5]	8
Figura 7 - Desenvolvimento do micélio em função dos valores de pH (adaptado de [11])	8
Figura 8 - Exemplo de Pontes Térmicas [12].....	10
Figura 9 - Exemplo esquemático de ventilação conjunta do fogo [19].....	17
Figura 10 - Exemplo esquemático de dois sectores separados de ventilação numa habitação com lareira de fogo aberto [19]	17
Figura 11 – Explicação, por etapas, o modelo desenvolvido	23
Figura 12 - Pressão de vapor exterior.....	25
Figura 13 - Imagem ilustrativa da humidade absoluta exterior	26
Figura 14 - Quantificação da humidade absoluta interior	27
Figura 15 - Pressão de vapor do ar interior	29
Figura 16 - Temperatura Média Mensal em Bragança.....	34
Figura 17 - Humidade Relativa Média Mensal em Bragança	35
Figura 18 - Temperatura Média Mensal no Porto	38
Figura 19 - Humidade Relativa Média Mensal no Porto.....	38
Figura 20 - Temperatura Média Mensal em Lisboa	41
Figura 21 - Humidade Relativa Média Mensal em Lisboa	41
Figura 22 - Posicionamento das aberturas de admissão de ar [19].....	46
Figura 23 - Exemplo de uma grelha autorregulável (adaptado de [25]).....	47
Figura 24 - Dispositivos de passagem de ar interior [19].....	50
Figura 25 - Exemplos de dispositivos de passagem de ar em portas interiores (adaptado de [25])	50
Figura 26 - Exemplo de abertura de extração de ar em cozinhas e instalações sanitárias (adaptado de [19] e [26])	51
Figura 27 - Limitação de troços inclinados nas condutas de extração de ar [19].....	51
Figura 28 - Formatos de ventiladores estáticos e eólicos (Catálogo Comercial)	52
Figura 29 - Dispositivo de extração de ar em cozinhas (adaptado de [27])	53
Figura 30 - Tipos de aparelhos a gás (Catálogo Comercial)	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Índice da taxa de crescimento (adaptado de [7]).....	5
Tabela 2 - Valores médios de temperatura e humidade relativa de diversos materiais para os quais não há risco de desenvolvimento de bolores (adaptado de [13])	10
Tabela 3 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais [19]	14
Tabela 4 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço [19].....	14
Tabela 5 - Áreas úteis recomendadas para aberturas em paredes de fachadas em edifícios da classe de exposição Exp 1[19].....	15
Tabela 6 - Área útil das aberturas de entrada de ar nos compartimentos a partir de condutas [19]	15
Tabela 7 - Áreas úteis das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço [19]	15
Tabela 8 - Áreas úteis das aberturas de evacuação de ar (perda de carga de aproximadamente 3 Pa) [19].....	16
Tabela 9 - Áreas úteis das aberturas de evacuação de ar (perda de carga de aproximadamente 10 Pa) [19].....	16
Tabela 10 - Caudais de ventilação mínimos exigidos para cada compartimento [20]	19
Tabela 11 - Caudais-tipo de extração em cada compartimento de serviço [21].....	20
Tabela 12 - Caudais totais extraídos e caudais reduzidos em cozinhas [21]	20
Tabela 13 - Tabela tipo de resultados do modelo desenvolvido	24
Tabela 14 - Valores de T_e , HR e Pe da folha Excel	26
Tabela 15 - Valores de Pe , P_t e U_e	27
Tabela 16 - Valores de ω_i , n e V_i	28
Tabela 17 – Alguns valores de U_i da folha Excel.....	28
Tabela 18 – Alguns valores de P_i da folha Excel.....	29
Tabela 19 - Valores da condutância térmica superficial [23].....	30
Tabela 20 - Valores da temperatura superficial do elemento com $U = 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$	31
Tabela 21 - Valores da temperatura superficial do elemento com $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$	31
Tabela 22 - Valores da Pressão de vapor de saturação superficial do elemento com $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$	32
Tabela 23 - Valores da Pressão de vapor de saturação superficial do elemento com $U = 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$	32
Tabela 24 - Avaliação do risco de condensações com $U=0,65$	33
Tabela 25 - Avaliação do risco de condensações com $U=2$	33
Tabela 26 - Valores Pe para caso de estudo em Bragança.....	35
Tabela 27 - Valores T_{si} e P_s para $U = 0,65$, caso de estudo em Bragança	36
Tabela 28 - Análise do risco de condensações em Bragança	37

Tabela 29 - Valores Pe para caso de estudo no Porto	39
Tabela 30 - Valores T_{si} e P_s para $U = 0,65$, caso de estudo no Porto.....	39
Tabela 31 - Análise do risco de condensações no Porto	40
Tabela 32 - Valores Pe para caso de estudo em Lisboa	42
Tabela 33 - Valores T_{si} e P_s para $U = 0,65$, caso de estudo em Lisboa.....	42
Tabela 34 - Análise do risco de condensações em Lisboa	43
Tabela 35 - Características de dimensionamento das aberturas [19]	48
Tabela 36 - Classes de exposição ao vento [19].....	48
Tabela 37 - Classes de permeabilidade ao ar de janelas e portas exteriores em função da sua exposição. [19].....	49
Tabela 38 - Grelha de admissão: Fornecedor A	55
Tabela 39 - Grelha de admissão: Fornecedor B	56
Tabela 40 - Grelha de admissão: Fornecedor C	57
Tabela 41 - Grelha de admissão: Fornecedor D	58
Tabela 42 - Grelha de extração: Fornecedor E.....	59
Tabela 43 - Grelha de extração: Fornecedor F	60
Tabela 44 - Ventilador estáticos: Fornecedor G.....	61
Tabela 45 - Risco de condensações com $U = 2 \text{ W/m}^2\text{C}$	64
Tabela 46 - Risco de condensações com $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$	65
Tabela 47 - Classificação dos edifícios quanto à sua higrometria.....	66
Tabela 48 - Risco de condensações com $U = 2 \text{ W/m}^2\text{C}$, na cidade do Porto	66
Tabela 49 - Risco de condensações com $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$, na cidade do Porto	66
Tabela 50 - Risco de condensações com $U = 2 \text{ W/m}^2\text{C}$, na cidade de Bragança.....	67
Tabela 51 - Risco de condensações com $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$, na cidade de Bragança.....	67
Tabela 52 - Influência na ventilação no risco de condensações para uma habitação no Porto com $U = 2$ $\text{W/m}^2\text{C}$	68
Tabela 53 - Influência na ventilação no risco de condensações para uma habitação no Porto com $U =$ $0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$	69

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A ventilação do interior dos edifícios é imprescindível para uma boa qualidade do ar interior, conforto, saúde, segurança e conservação dos edifícios. Assim, associada a uma ausência funcional da ventilação, haverá desenvolvimento significativo de patologias nos edifícios.

No que diz respeito ao comportamento higrométrico dos edifícios, uma das patologias mais comuns é a formação de condensações superficiais interiores. A condensação superficial é um fenómeno muito comum em habitações e a sua formação ocorre, maioritariamente, devido à má ventilação dos espaços, quer pela incompreensão do utilizador devido à complexidade deste acontecimento pelos diversos fatores que conjuga, quer pela falta de dispositivos de ventilação adequados que permitam uma ventilação geral e permanente.

Por outro lado, este fenómeno, por vezes, é agravado devido às soluções construtivas dos edifícios como é o caso de envolventes sem isolamento térmico, edifícios demasiado estanques ao ar, pontes térmicas no interior, entre outros.

Aliada à condensação superficial, no interior dos edifícios, é habitual o desenvolvimento de fungos em superfícies interiores. Conhecida como uma das principais causas de problemas interiores de qualidade do ar e associada a elevadas quantidades de humidade, este tipo de patologia prejudica o bem-estar dos ocupantes, desde desconforto a problemas de saúde graves. Para além disso, estes microrganismos afetam também os materiais de construção provocando a sua deterioração e diminuindo o seu desempenho. Há várias condições ambientais envolvidas na base do desenvolvimento de fungos, tais como a humidade relativa, temperatura e quantidade de nutrientes, porém, parâmetros como a luz solar, valores de pH, quantidade de oxigénio e tempo de exposição influenciam também o seu crescimento.

Deste modo, a importância da ventilação na atenuação de patologias em edifícios é notável. A ventilação tem como finalidade admitir quantidades controladas de ar fresco do exterior, assegurando conforto e diluição de substâncias contaminantes e extrair os gases libertados pela combustão para o exterior, bem como remover odores degradáveis. Com a evolução dos sistemas de ventilação, como a introdução de ventilação mecânica em locais onde a ventilação natural não seria capaz de extrair o excesso de produção de ar viciado nos edifícios devido a ações com maior produção de poluentes, a ventilação tornou-se mais eficaz, no entanto, este tipo de ventilação pressupõe um aumento de consumo energético nas habitações e impacto acústico.

1.2. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo fundamental desta dissertação consiste na importância da ventilação no controlo do risco de condensações. Para tal, procedeu-se ao desenvolvimento de um modelo de cálculo com recurso a uma folha Excel para avaliação dos riscos de condensações, e respetiva aplicação num caso prático de um edifício de habitação localizado na cidade do Porto, bem como o estudo de dispositivos de ventilação e respetivo dimensionamento.

Deste modo, definiram-se as várias tarefas e objetivos:

- Pesquisa e análise de fungos nos edifícios, de modo a compreender os vastos fatores favoráveis ao seu desenvolvimento;
- Descrever tipos de ventilação, abordagem das taxas de ventilação e realizar um estudo dos principais regulamentos/normas de ventilação em Portugal e em alguns países europeus;
- Realização de um modelo de cálculo para avaliação do risco de condensações, que permita ser utilizado para qualquer edifício em qualquer localidade, introduzindo apenas os parâmetros do edifício em causa;
- Descrever os métodos de dimensionamento e conceção dos possíveis sistemas de ventilação destes edifícios, identificando dispositivos de ventilação existentes no mercado e apresentar as suas principais características de funcionamento;
- Aplicação do modelo de cálculo a um edifício de habitação na cidade do Porto.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

A estrutura do presente trabalho divide-se em 6 capítulos:

O capítulo 1 introduz o tema desta dissertação, o seu enquadramento e define os seus principais objetivos a cumprir, como também a organização e estrutura do texto;

O capítulo 2 corresponde ao estado de arte, que inclui uma síntese relativamente a fungos nos edifícios abordando a sua definição, modelos existentes para a previsão do seu crescimento e fatores decisivos que influenciam a sua formação. Faz-se também referência a taxas de ventilação, normas e regulamentação portuguesa e regulamentação de outros países europeus.

No capítulo 3 é apresentado um modelo simplificado de avaliação do risco de condensações e sua aplicação. É também abordado, através da aplicação do modelo, o risco de condensações em função do clima local para três pontos distintos do país.

O capítulo 4 é dedicado à conceção e dimensionamento de sistemas de ventilação natural e mista.

No capítulo 5 apresenta a aplicação do modelo de risco de condensações em função da produção de vapor interior e da localização no território nacional a um caso de estudo. Analisa-se a importância da ventilação e medidas de melhoria de ventilação.

O capítulo 6 refere-se às principais conclusões retiradas ao longo de cada um destes capítulos.

2

ESTADO DE ARTE

2.1. FUNGOS NOS EDIFÍCIOS

2.1.1. PRINCÍPIOS GERAIS

A existência de humidade em fase vapor ou fase líquida, proveniente de humidade de construção, infiltrações, condensações, ventilação ou até por humidade ascensional, leva à formação de bolores causando inúmeros problemas quer para os habitantes como para a viabilidade a longo prazo das estruturas e envolvente do edifício em causa.

Assim, uma das patologias mais frequente associada à humidade é o aparecimento de fungos, que para além dos problemas de saúde e desconforto que podem causar aos habitantes, visualmente são fortemente evidenciados e notórios através de manchas de cor esbranquiçadas, verde acinzentado ou castanho/preto e, ocasionalmente, libertam fortes odores. [1]

A humidade relativa e a temperatura são dois dos fatores mais relevantes na formação de fungos, fazendo com que esta patologia ocorra em zonas de ponte térmica (ligação entre paredes e tetos, nos ângulos entre as paredes), atrás de móveis, entre outros locais. [2]

De modo a evitar a sua ocorrência, os espaços permanentemente ocupados deve ter uma ventilação adequada através de sistemas de ventilação, podendo estes ser naturais, mecânicos ou mistos.



Figura 1 - Presença de fungos [3]

2.1.2. DEFINIÇÃO DE FUNGOS

Os fungos condicionam a qualidade do ar interior, sendo que a possibilidade de desenvolvimento de vários tipos de fungos é elevada, porém os mais suscetíveis e recorrentes de se manifestarem são sobretudo os bolores.

Os bolores são um tipo de fungo multicelulares composto por filamentos que se denominam por hifas. As hifas alongadas e ramificadas, que se manifestam da reprodução dos esporos presentes na atmosfera, primeiramente espalham-se sobre a matéria para depois penetrar na mesma e o seu conjunto formam o micélio. [4]

O micélio, composto visível a olho nu, consiste numa massa de ramificação formada por um conjunto de hifas emaranhadas, que é responsável por transportar nutrientes até onde o fungo necessita e faz processos de simbiose com algumas espécies. Por sua vez, o micélio é extremamente exigente em relação à temperatura e humidade para dar processo ao restante do ciclo biológico dos fungos. [5]



Figura 2 - Exemplo de micélio [6]

2.1.3. COMO SE DESENVOLVEM OS FUNGOS

Em climas com invernos rigorosos as temperaturas da superfície interior de paredes exteriores, conjuntamente com a humidade presente no espaço interior, são determinantes na formação de fungos, em concreto, bolores. Os estudos de Sedlbauer (2001) mostram que elevadas taxas de humidade relativa, acima de 80%, com temperaturas acima de 10°C são condições ideais para a formação de mais de 200 espécies existentes bolor. [5]

As baixas temperaturas exteriores juntamente com paredes exteriores de menores resistências térmicas proporcionam temperaturas superficiais interiores baixas e, conjuntamente com o aumento da humidade absoluta dos espaços, geram altas taxas de humidade relativa do ar nas regiões próximas das paredes, proporcionando assim o surgimento e crescimento de bolores.

2.1.4. MODELOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE FUNGOS

Há vários modelos existentes que preveem o crescimento e desenvolvimento de fungos, entre os quais, o modelo VTT (Viitanen e Hukka, 1999) e o modelo Isopletas.

2.1.4.1. MODELO VTT

Baseado em um modelo matemático desenvolvido inicialmente para madeiras, sendo mais tarde expandido a outros matérias de construção, para avaliar o crescimento de fungos, tendo em consideração fatores como humidade relativa, temperatura, tempo de exposição, como também o atraso na taxa de crescimento devido às condições desfavoráveis.

A primeira versão deste modelo é baseada em vários ensaios em 2 tipos de madeiras (pinheiros e abetos) com características diferentes. Avaliado o crescimento nos ensaios realizados, foi necessário quantificar o crescimento de fungos tendo em conta a quantidade presente nas superfícies em estudo. Para isso, foi atribuído um índice (Tabela 1) que varia entre 0 (esporos não ativos) e 6 (100% da superfície coberta), bem como se o crescimento é detetado microscopicamente ou visualmente detetável. [7]

Índice	Taxa de crescimento	Descrição
0	Sem crescimento	Esporos não ativos
1	Pequenas quantidades de bolor na superfície (microscópio)	Fase inicial de crescimento
2	Superfície coberta com bolores (microscópio) < 10%	Fase de crescimento
3	10% < Superfície coberta com bolores (visual) < 30%	Novos esporos produzidos
4	30% < Superfície coberta com bolores (visual) < 70%	Crescimento moderado
5	Superfície coberta com bolores (visual) > 70%	Crescimento elevado
6	Cerca de 100% da superfície coberta com bolores (visual)	Crescimento muito elevado

Tabela 1 - Índice da taxa de crescimento (adaptado de [7])

2.1.4.2. MODELO ISOPLETAS

Com base em um molde representativo selecionado de cada categoria, originaram-se curvas de limite de crescimento de fungos tendo em conta condições favoráveis, representadas pelo modelo Isopletas. Para cada categoria, as curvas representadas definem a combinação mínima de temperatura e humidade relativa para que o crescimento ocorra nas superfícies do edifício, como demonstrado na Figura 3.

Há seis categorias que definem os tipos de fungos que podem ser observados nos edifícios, estabelecidas de A até F que correspondem a fungos que necessitam de humidades relativas baixas (altamente xerofílico) e humidades relativas elevadas (altamente hidrofílico), respetivamente. [8]

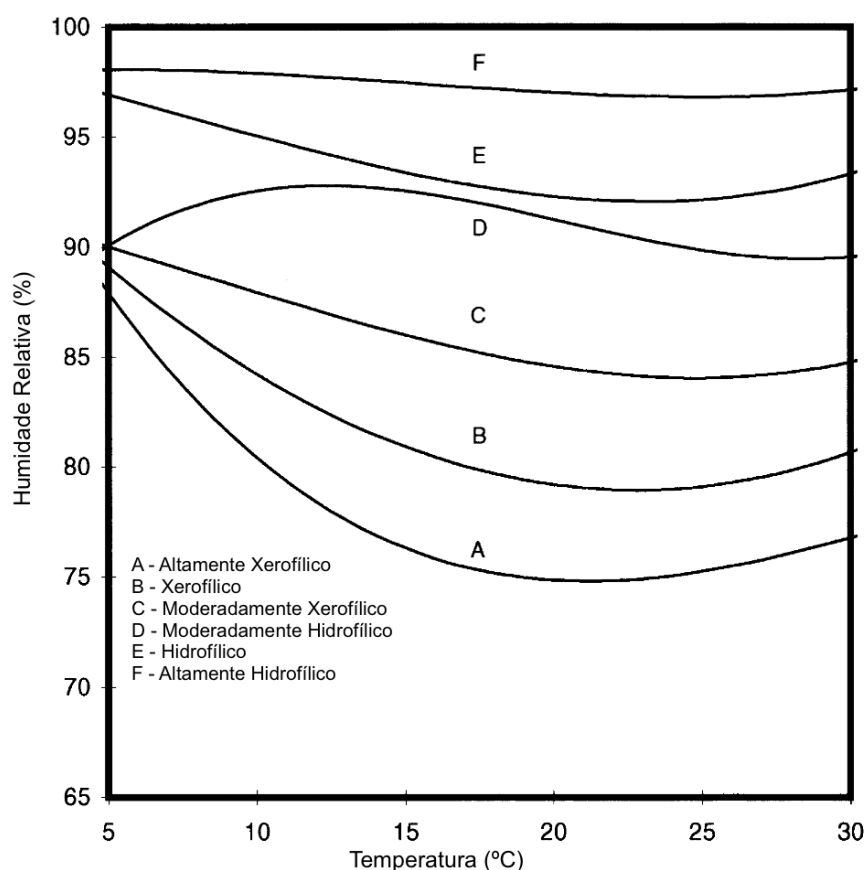


Figura 3 - Categorias de Fungos (Modelo Isopleias) (adaptado de [8])

2.1.5. FATORES DECISIVOS QUE INFLUENCIAM A FORMAÇÃO DE FUNGOS

2.1.5.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL

O valor da temperatura superficial que cada tipo de fungo necessita para o seu crescimento e respetivo desenvolvimento, varia para as diferentes espécies e para a fase de desenvolvimento em que se encontra cada fungo.

As espécies de fungos mais comuns que se encontram no interior de edifícios, necessitam de uma temperatura mínima entre 5°C e 10°C para que seja possível o crescimento do micélio. Por sua vez e segundo [9], as temperaturas compreendidas entre os 22°C e os 35°C serão consideradas ótimas para o crescimento do micélio das espécies comuns.

Observando a figura 4, podemos concluir que os fungos são capazes de crescer e se desenvolver com temperaturas correntes em edifícios que estão, geralmente, compreendidas entre 15°C e 30°C.[5]

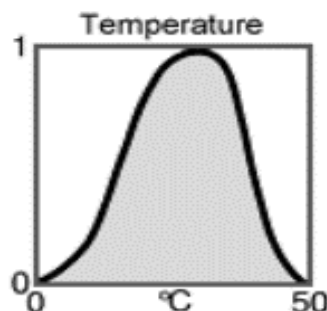


Figura 4 - Desenvolvimento de fungos em função da temperatura [5]

2.1.5.2. HUMIDADE RELATIVA

Para que os fungos obtenham alimento, e possam assim proceder ao seu crescimento, necessitam de uma determinada quantidade de humidade que podem encontrar presente no ar e nos materiais de construção (favorecido a partir de 70%). Uma vez que para a formação e crescimento de cada espécie de fungo a humidade relativa varia, podemos caracterizar cada espécie tendo por base este fator.

Para um crescimento dos fungos, as humidades relativas das superfícies dos substratos devem estar entre os valores de 80% e 100%. Por outro lado, caso haja uma situação em que o ambiente atinja uma humidade relativa de 100%, já nem todos os fungos conseguem a sua proliferação, uma vez que os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento são dissolvidos pela água em estado líquido. [5]

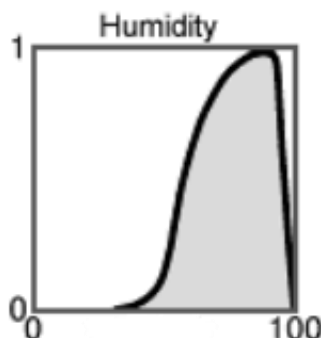


Figura 5 - Desenvolvimento de fungos em função da humidade [5]

2.1.5.3. SUBSTRATO

Substrato – Nutrientes

Além da temperatura e humidade, o teor de nutrientes contidos no substrato, que permitem o crescimento de fungos, é outro fator influente para a sua formação. Apesar de nos edifícios as quantidades de nutrientes serem menores que noutros meios, as pequenas quantidades de aditivos orgânicos presentes nos materiais de construção por exemplo, são suficientes para possibilitar um crescimento microbiológico.

Por outro lado, as propriedades das superfícies influenciam também o crescimento do micélio, isto é, a contaminação por poeiras, poluição do ar no espaço, impressões digitais, entre outras, é suficiente para a formação de uma camada que, mesmo fina, consegue ser relativamente abundante em substrato e sobre o qual pode ocorrer a germinação de esporos e o início do crescimento do micélio, mesmo que ligeiramente atrasado. [10]

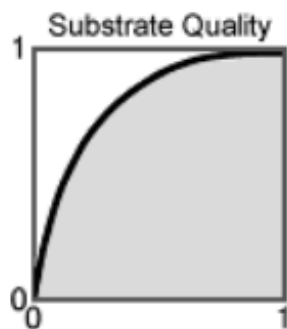


Figura 6 - Desenvolvimento de fungos em função da qualidade do substrato [5]

2.1.5.4. AMBIENTE, ATMOSFERA E LUZ SOLAR

Ambiente - ph na superfície;

A faixa de crescimento ideal de fungos está em valores de pH entre 5 e 7, porém a maioria das espécies tem a capacidade de crescerem em valores de pH entre 3 e 9, com exceção de alguns que são tolerados por valores de pH entre 2 e 11. [5]

Além disso, os fungos são capazes de alterar o valor do pH das superfícies, libertando vários ácidos orgânicos e com isso torna o espaço extracelular ácido, de forma que seja favorável ao seu crescimento.

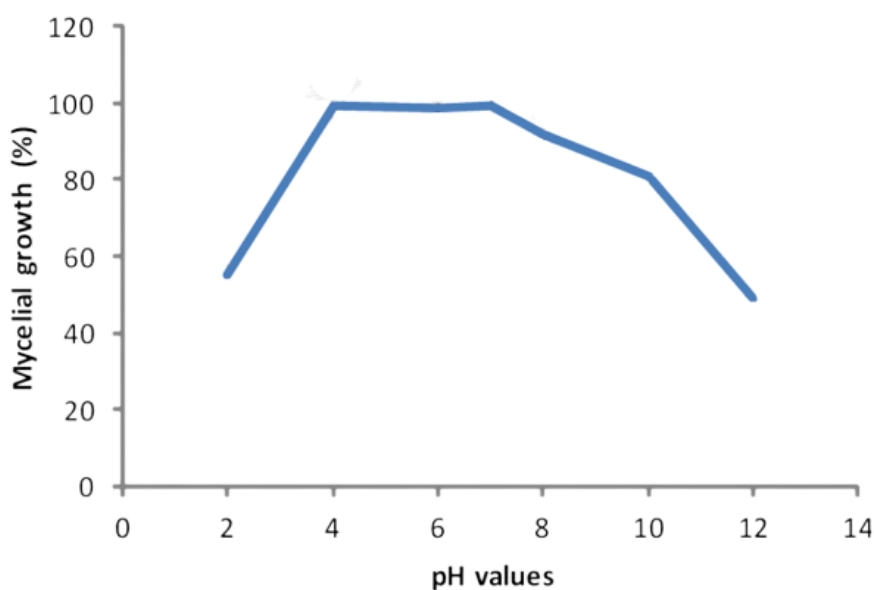


Figura 7 - Desenvolvimento do micélio em função dos valores de pH (adaptado de [11])

Atmosfera – Quantidade de oxigênio.

Sendo o oxigénio um fator indispensável para o crescimento fúngico, em casos de ausência de oxigénio, também é possível desenvolverem-se desde que sejam privados durante curtos e espaçados períodos temporais. Já no interior de edifícios, devido às quantidades avultadas de oxigénio sempre presente, o seu desenvolvimento é mais recorrente.

A nível de quantidade de oxigénio, o seu teor deve estar, no mínimo, compreendido entre 0,14% e 0,25%. [5] Assim sendo, e tendo em conta o que foi dito anteriormente, este fator condicionante no crescimento de fungos é, portanto, um dado adquirido.

Luz Solar

Os fungos de bolores não necessitam de luz para se desenvolver, explicado pelo facto de que estes podem crescer dentro de materiais de construção opacos do edifício. Assim, como a maioria dos fungos cresce em ambientes escuros e cada espécie destes tem diferentes requisitos de luz para o seu desenvolvimento, não é possível afirmar que o seu crescimento não é exequível na presença de luz solar. [5]

Por outro lado, uma quantidade de radiação ultravioleta em excesso e intensa pode ser prejudicial para o crescimento fúngico provocando a morte destes microrganismos.

2.1.6. INFLUÊNCIA DAS PONTES TÉRMICAS NO APARECIMENTO DE FUNGOS

São vários os locais onde os bolores podem aparecer, desde que tenham as condições ideais para a sua formação. Tal como referido anteriormente, sempre que a humidade relativa e a temperatura forem as apropriadas, estes podem desenvolver-se. Em materiais usados em engenharia civil, como alguns tipos de madeira, aglomerados, compensados, tintas, gessos, placas acartonadas comuns, que sejam à base de compostos minerais, materiais degradáveis ou que apresentem texturas capazes de reter sujidade que possam servir como meio nutricional, tendem a demonstrar-se mais favoráveis à proliferação de microrganismos, seja pela sua constituição, seja por suas qualidades higroscópicas.

O aparecimento de fungos ocorre geralmente em paredes exteriores, em zonas frias ou zonas onde existe humidade considerável no ar, como em casas de banho, cozinhas, lavandarias devido a atividades diárias como tomar banho, cozinhar e secar roupa, respetivamente. Assim, nestas divisões, estas atividades produzem vapor de água, e sem ventilação adequada, o risco de condensações aumenta.

Sendo a condensação uma das principais causas do aparecimento de bolores, este tipo de patologia começa por aparecer em pontos críticos das divisões, denominadas por pontes térmicas.

As pontes térmicas ocorrem em zonas de construção do edifício onde há alterações dos elementos construtivos e suas propriedades. As pontes térmicas são zonas que tem uma maior capacidade de transferir calor que as restantes zonas da construção do edifício, o que proporciona uma grande diminuição da temperatura das superfícies interiores, causando assim condensações superficiais. Além disso, as pontes térmicas, devido à sua facilidade de troca de calor entre o meio externo e interno, são responsáveis pelo aumento do gasto de energia relativo à climatização dos espaços. [12]

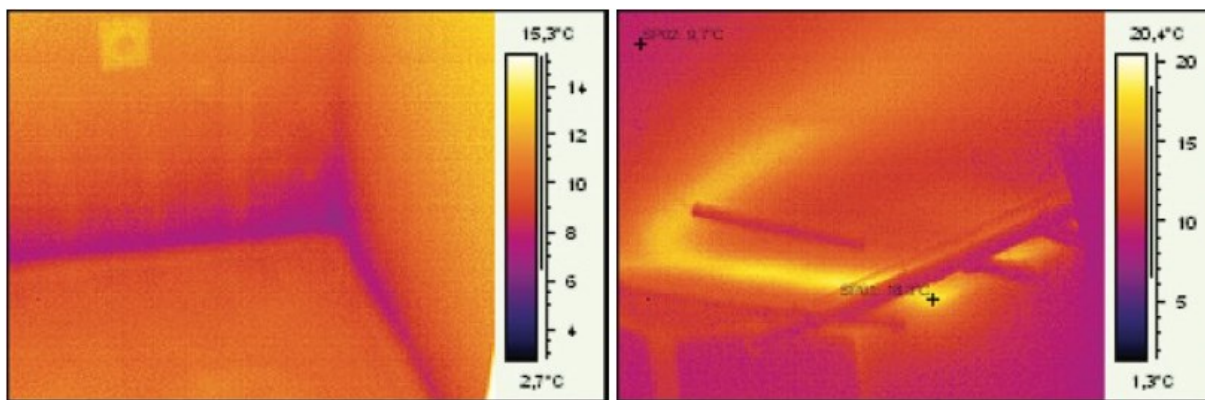


Figura 8 - Exemplo de Pontes Térmicas [12]

Analisando a tabela 2, conseguimos ter uma perceção dos valores médios de temperatura e humidade relativa, para os quais não há risco de desenvolvimento de bolores, de algumas matérias presentes em edifícios, sendo que valores fora destes intervalos serão vulneráveis ao desenvolvimento de bolores.

Material	Temperatura [°C]	Humidade Relativa [%]
Bronze	15-25	0-60
Couro, peles, pergaminho	18-24	35-65
Fita magnética	4-21	40-60
Fotografias a cores	-5-15	0-50
Fotografias a preto e branco	-5-20	0-60
Livros	13-24	0-65
Madeira	15-25	35-65
Materiais plásticos	19-24	30-50
Metais e ligas, prata, chumbo, cobre e latão	20-25	0-65
Mobiliário embutido e lacado	19-24	35-65
Mosaicos	6-25	0-60
Ouro	21-24	0-55
Papel	15-25	0-65
Pelos e penas	15-25	25-60
Seda	2-25	35-65
Têxteis, carpetes, tapeçarias	2-25	35-65
Vidros	18-24	0-60

Tabela 2 - Valores médios de temperatura e humidade relativa de diversos materiais para os quais não há risco de desenvolvimento de bolores (adaptado de [13])

2.1.7. COMO PREVENIR A FORMAÇÃO DE FUNGOS

Observam-se problemas de bolor em paredes interiores de ambientes que possuem baixa ventilação, isto é, divisões como os quartos, que apresentem uma reduzida ventilação são mais suscetíveis à formação deste tipo de microrganismos. No entanto, podem também ocorrer em paredes externas, geralmente em paredes com pouca incidência de sol, sendo mais húmidas que as restantes, o que torna, neste caso, a sua prevenção mais complicada. No mercado podemos encontrar vários tipos de produtos que ao serem aplicados em determinadas superfícies, tendem a torná-las capazes de prevenir o crescimento desses agentes.

Assim, e de modo a prevenir condensações superficiais interiores, poderá ser feita uma melhoria do isolamento, poderão ser usados aparelhos como desumidificadores, que diminuem a humidade relativa ou até mesmo recorrer ao aquecimento do espaço, que provoca o aumento da temperatura. Porém, uma boa ventilação dos espaços permitirá, de forma mais económica e simplificada, resolver e precaver este tipo de desenvolvimentos.

2.2. VENTILAÇÃO

2.2.1. GENERALIDADES

A ventilação tem valores e normas regulamentadas a seguir, que serão abordadas com especial atenção e detalhe.

A ventilação em edifícios é um parâmetro de grande importância para assegurar a qualidade do ar interior, uma vez que permite renovar o ar de uma habitação, reduzindo assim problemas de humidade, bolores e patologias, que colocam em risco a saúde dos habitantes e a durabilidade do edifício.

De modo a conferir uma boa qualidade do ar interior, a ventilação pode ser feita através de sistemas de dois tipos: Natural, isto é, sem recurso a equipamentos mecânicos, e/ou mecânico, que funcionam a partir de ventiladores que asseguram a circulação do ar.

No caso da ventilação natural, o ar entra em divisões como quartos e salas e é extraído nas cozinhas, casas de banho e compartimentos interiores através de condutas de exaustão. As instalações sanitárias devem ter um sistema de extração de ar, contudo, as instalações sanitárias com janelas, estão isentas, regulamentarmente, deste requisito, o que não é recomendável.

Já se a ventilação for mecânica, usada maioritariamente em edifícios de habitação multifamiliar, a extração do ar é feita por exaustores individuais ou ligados à ventilação geral. [14]

Apesar da ventilação mecânica permitir uma ventilação mais controlada do ponto de vista de extração de ar, este tem um grande impacto no consumo de energia. [15]

2.2.2. TAXA DE VENTILAÇÃO

Dependendo das dimensões do espaço em causa, do número de pessoas no interior do compartimento, da atividade desempenhada ou da produção de substâncias poluentes no interior, a taxa de ventilação representa o valor necessário de ar novo a ser ventilado para que seja possível assegurar os limites satisfatórios de qualidade de ar no seu interior, e assim, manter um ambiente interior aceitável para os ocupantes.

O limite superior das taxas de ventilação é estabelecido tendo em conta critérios de conservação de energia. Para estabelecer o limite inferior, existem correntemente duas metodologias: [15,16]

- Método exigencial: define os limites da concentração de substâncias potencialmente poluentes ou odores do interior da habitação;
- Método prescritivo: definição de um caudal de ventilação de ar novo, usualmente expresso por unidade de área, unidade de volume (esta definição dá origem ao parâmetro renovações horárias - RPH [h^{-1}]) ou por pessoa.

De modo geral, o método prescritivo é o mais utilizado para definir a taxa de ventilação a níveis práticos recorrendo ao uso do RPH, que é imposto pela regulamentação da térmica como requisito mínimo, visto que o método exigencial recorre a dois critérios: critério sensorial e de saúde, que deriva numa maior dificuldade da sua aplicação pois requer o conhecimento de vários parâmetros, nomeadamente, a localização e emissão (variável no tempo) de todas as possíveis fontes interiores de poluição e o tempo que as pessoas passam no interior, em diferentes edifícios ou em diferentes zonas do mesmo edifício. Além destes fatores, acresce também o facto de que este método se debate com a tarefa de controlar um largo número de poluentes, dificultando o estabelecimento de uma taxa de ventilação necessária para manter estes poluentes a um nível aceitável devido à perceção e efeitos biológicos da mistura de poluentes no ser humano ser diferente das análises obtidas de cada poluente individualmente. [15,16]

Face às dificuldades enumeradas anteriormente, adotou-se uma metodologia simplificada (método prescritivo) em que se adotam valores-tipo de caudal de ar novo, isto é, recorre-se à prescrição de renovações por hora (RPH [h^{-1}]) para toda a habitação ou renovações/caudais volúmicos para compartimentos específicos, com base na sua ocupação ou nas atividades que aí se desenvolvem. [15,16]

A taxa nominal horária de renovação de ar interior, RPH, corresponde à soma dos caudais de ar admitidos no interior a dividir pelo volume interior útil do edifício. [17]

$$RPH = \frac{\sum Q}{V}$$

2.2.3. NORMAS E REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA

2.2.3.1. PORTARIA 138-I/2021

Na Portaria 138-I/2021, os valores mínimos da taxa de renovação horária nos edifícios de habitação novos, edifícios sujeitos a grandes renovações ou sujeitos a renovações no sistema de ventilação, devem garantir um valor de taxa de renovação horária de ar de $0,5 \text{ h}^{-1}$. [18]

2.2.3.2. NP 1037-1 (2002) – PARTE 1: EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO. VENTILAÇÃO NATURAL [19]

2.2.3.2.1. GENERALIDADES E EXIGÊNCIAS DE VENTILAÇÃO

A ventilação das habitações deve ser geral e permanente, nas situações em que o clima exterior não permita que os elementos de ligação direta para o exterior estejam abertos, como é o caso de janelas e portas. Por outro lado, tanto a disposição dos compartimentos como a orientação das aberturas para o exterior devem estar orientadas em concordância com as direções de ventos dominantes para que seja

favorecida a admissão de ar pelos compartimentos principais e respetiva evacuação pelos compartimentos de serviço.

Na norma em questão, são mencionadas exigências de ventilação das habitações, a permeabilidade ao ar compatível com essas exigências e especificadas as condições, em termos de instalação e de dimensionamento, a que a ventilação deve obedecer para as cumprir.

Segundo a norma, são propostas duas regras de disposição da ventilação em compartimentos: Ventilação conjunta e ventilação separada. Sendo que o esquema de ventilação separada é recomendado para compartimentos onde estejam instaladas lareiras, aparelhos a gás (aparelhos do tipo A e B), ou aparelhos alimentados a outro tipo de combustíveis.

Os aparelhos do tipo C não serão de considerar na determinação dos caudais-tipo visto que sendo estanques tem admissão e evacuação independente.

2.2.3.3. CAUDAIS-TIPO

A nível de exigências de ventilação, a presente norma estabelece-se caudais-tipo, baseando-se em critérios de qualidade do ar interior quando os compartimentos principais e de serviço se encontram em total funcionamento.

No caso da ventilação natural, o caudal-tipo deve ser assimilado como um elemento de dimensionamento e não como um caudal a assegurar fisicamente, visto que a ventilação natural é imprevisível não havendo assim controlo sobre as ações que a promovem.

A sua determinação passa então por ter em atenção o volume dos compartimentos a ventilar e as respetivas exigências mínimas de renovação do ar, conforme a norma:

- a) uma renovação por hora nos compartimentos principais;
- b) quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço.

Em compartimentos onde estão instalados aparelhos a gás, à exceção de caldeiras, considera-se um caudal-tipo correspondente ao produto seguinte:

$$4,3 \times Q_n \text{ (m}^3\text{/h)} \approx 1,194 \times Q_n \text{ (l/s)}$$

Sendo Q_n a potência nominal do aparelho em kW.

Já em locais onde estão instaladas caldeiras, o caudal-tipo a considerar-se corresponde a:

$$5,0 \times Q_n \text{ (m}^3\text{/h)} \approx 1,389 \times Q_n \text{ (l/s)}$$

Sendo Q_n a potência nominal do aparelho em kW.

Na tabela 3 são indicados, de acordo com a norma, os caudais-tipo a respeitar para a admissão nos compartimentos principais que integram o mesmo sector de ventilação, em função do respetivo volume total.

Volume (m³)	≤30	>30 ≤60	>60 ≤90	>90 ≤120	>120 ≤150	>150 ≤180	>180 ≤210	>210 ≤240
Caudal-tipo (l/s) (m³/h)	8 (30)	17 (60)	25 (90)	33 (120)	42 (150)	50 (180)	58 (210)	67 (240)

Tabela 3 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais [19]

Na tabela 4, são apresentados a título indicativo os caudais-tipo a respeitar para extração nos compartimentos de serviço, considerados individualmente, em função do seu volume.

COMPARTIMENTO		VOLUME				
		≤ 8 m³	> 8 m³ ≤ 11 m³	> 11 m³ ≤ 15 m³	> 15 m³ ≤ 22 m³	> 22 m³ ≤ 30 m³
Cozinha e outros espaços para instalação de aparelhos a gás		(1)	17 l/s (60 m³/h)		25 l/s (90 m³/h)	33 l/s (120 m³/h)
Instalação sanitária	com banheira ou duche	13 l/s (45 m³/h)		17 l/s (60 m³/h)	25 l/s (90 m³/h)	(2)
	sem banheira nem duche	8 l/s (30 m³/h)	13 l/s (45 m³/h)	17 l/s (60 m³/h)	(2)	(2)
Espaços para lavandaria		8 l/s (30 m³/h)	13 l/s (45 m³/h)	17 l/s (60 m³/h)	(2)	(2)
(1) Volumes para os quais não é permitida a instalação de aparelhos a gás dos tipos A. Esta montagem é permitida para os aparelhos do tipo B desde que o local seja destinado apenas para alojamento deste (ver, também, a NP 1037-3). (2) Volumes pouco usuais em compartimentos deste tipo em relação aos quais se recomenda o dimensionamento caso a caso tendo em conta as exigências acima referidas.						

Tabela 4 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço [19]

2.2.3.4. ADMISSÃO DE AR

Para a admissão de ar são previstos dois tipos de aberturas: aberturas de admissão de ar em parede de fachada, que enquadram também as aberturas posicionadas nas caixas de estore e outros elementos das fachadas, e admissão de ar por condutas, podendo estas ser individuais ou coletivas.

a) Aberturas de admissão de ar em parede de fachada.

As aberturas de admissão de ar em parede de fachada consistem em dispositivos que coloca em comunicação direta o exterior com o interior da habitação e o seu dimensionamento depende da classe de exposição do edifício ao vento e deve respeitar as seguintes áreas úteis, conforme o caudal-tipo do compartimento em relação ao volume.

Área útil	Caudal-tipo
35 cm ²	8 l/s (30 m ³ /h)
52 cm ²	13 l/s (45 m ³ /h)
70 cm ²	17 l/s (60 m ³ /h)

Tabela 5 - Áreas úteis recomendadas para aberturas em paredes de fachadas em edifícios da classe de exposição Exp 1 [19]

b) Admissão de ar por condutas.

Neste caso, o dimensionamento das aberturas de admissão de ar servidas por condutas de comunicação com o exterior deve cumprir os valores de área útil estabelecidos na tabela 6, com perdas de carga nestas aberturas, para os caudais-tipo correspondentes, na ordem de 3 Pa.

Área útil	Caudal-tipo
60 cm ²	8 l/s (30 m ³ /h)
90 cm ²	13 l/s (45 m ³ /h)
120 cm ²	17 l/s (60 m ³ /h)

Tabela 6 - Área útil das aberturas de entrada de ar nos compartimentos a partir de condutas [19]

2.2.3.5. PASSAGENS DE AR INTERIORES

No dimensionamento das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço, estas devem corresponder a uma área útil como indicada na tabela seguinte (Tabela 7). Para os caudais-tipo representados, as perdas de carga nestas aberturas devem ser da ordem de 1Pa em caudais até 60 m³/h, enquanto em caudais superiores, a perda de carga não deve exceder 3 Pa.

Área útil	Caudal-tipo
100 cm ²	até 8 l/s (30 m ³ /h)
200 cm ²	de 8 l/s (30 m ³ /h) até 25 l/s (90 m ³ /h)
250 cm ²	de 25 l/s (90 m ³ /h) até 33 l/s (120 m ³ /h)

Tabela 7 - Áreas úteis das aberturas de passagem de ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço [19]

2.2.3.6. EVACUAÇÃO DE AR

No caso de evacuação de ar, a área útil mínima para aberturas de evacuação de ar servidas por condutas individuais ou por condutas coletivas são as apresentadas na tabela 8, desde que estas se situem nos últimos cinco pisos do edifício. Nestas grelhas, para os caudais-tipo em correspondência, as perdas de carga não devem exceder 3 Pa.

Área útil	Caudal-tipo
80 cm ²	8 l/s (30 m ³ /h)
120 cm ²	13 l/s (45 m ³ /h)
150 cm ²	17 l/s (60 m ³ /h)
220 cm ²	25 l/s (90 m ³ /h)
280 cm ²	33 l/s (120 m ³ /h)

Tabela 8 - Áreas úteis das aberturas de evacuação de ar (perda de carga de aproximadamente 3 Pa) [19]

Para condutas coletivas que servem de aberturas de evacuação de ar devem ter secção uniforme em todos os pisos, à exceção dos últimos cinco. Nestas aberturas, para os caudais-tipo em correspondência, as perdas de carga devem ser na ordem de 10 Pa. Assim, nesta situação, a área útil da secção deve ser da ordem de grandeza apresentada na tabela 9.

Área útil	Caudal-tipo
40 cm ²	8 l/s (30 m ³ /h)
60 cm ²	13 l/s (45 m ³ /h)
80 cm ²	17 l/s (60 m ³ /h)
120 cm ²	25 l/s (90 m ³ /h)
150 cm ²	33 l/s (120 m ³ /h)

Tabela 9 - Áreas úteis das aberturas de evacuação de ar (perda de carga de aproximadamente 10 Pa) [19]

2.2.3.7. DIMENSIONAMENTO DA VENTILAÇÃO DE FOGO

a) Ventilação conjunta

A ventilação conjunta deve compreender os seguintes princípios:

- O processo de ventilação deve ser geral e permanente com evacuação de ar por tiragem térmica;
- As entradas de ar devem ser efetuadas nos compartimentos principais realizadas através de aberturas diretas para o exterior, grelhas auto-reguláveis consumadas nas paredes de fachada, ou em aberturas servidas por condutas de comunicação com o exterior;
- As passagens de ar interior processadas dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço são feitas através de aberturas especialmente previstas para o efeito, como folgas no fundo das portas ou grelhas posicionadas na porta ou na parede;
- A saída de ar dos compartimentos de serviço deve ser feita para o exterior do edifício através de aberturas servidas por condutas individuais ou coletivas de evacuação de ar;
- As admissões e as aberturas de evacuação de ar devem estar dimensionadas no seu conjunto para o mesmo caudal total.

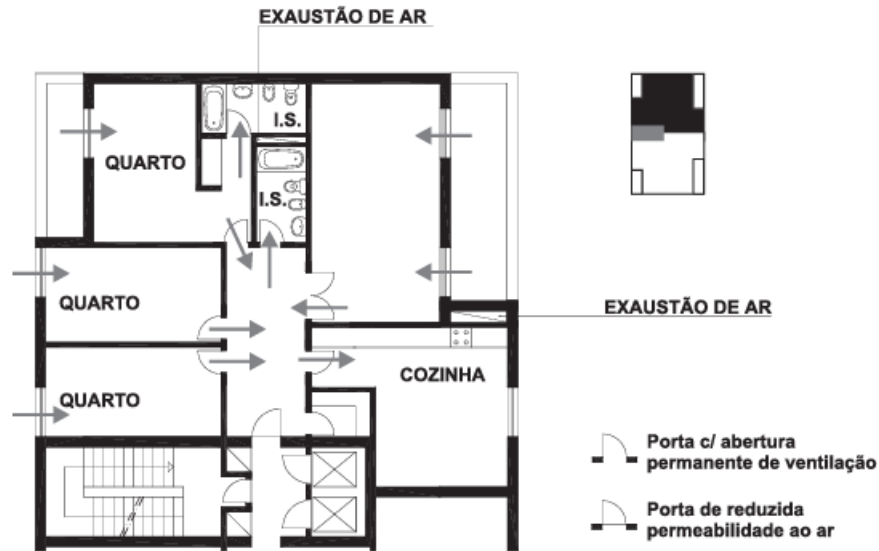


Figura 9 - Exemplo esquemático de ventilação conjunta do fogo [19]

b) Ventilação separada

A situação em que o volume ventilado abrange unicamente uma fração da habitação designa-se por ventilação separada.

Para a implementação da ventilação separada de compartimentos, são condições necessárias a existência de entradas de ar novo, saídas de ar poluído, passagens de ar interiores (quando a ventilação separada abrange vários compartimentos) e comunicações de reduzida permeabilidade ao ar com outros setores de ventilação ou com o exterior.

Por sua vez, é relevante a utilização de portas estanques para impedir que haja cruzamento entre a ventilação das diferentes repartições, uma vez que a ventilação separada não deve intervir na ventilação das repartições contíguas. Esta condição é obrigatória no caso de haver uma lareira de fogo aberta (como apresentada na figura 10) de forma a manter uma depressão no interior desse compartimento.



Figura 10 - Exemplo esquemático de dois sectores separados de ventilação numa habitação com lareira de fogo aberto [19]

2.2.4. REGULAMENTAÇÃO DE OUTROS PAÍSES EUROPEUS

2.2.4.1. REGULAMENTAÇÃO ESPANHOLA – “CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN”

A regulamentação espanhola relacionada com a qualidade do ar interior publicada a 20 de abril de 2009, “Código Técnico de la Edificación – Sección HS3 Calidad del air interior” tem como objetivo estabelecer regras e procedimentos dos quais os edifícios tem de cumprir [20]:

1. Cumprimento das condições estabelecidas pelos caudais;
2. Conformidade com as condições de projeto dos sistemas de ventilação:
 - a) Para cada local, tipos de ventilação e condições relativas aos meios de ventilação (naturais, mecânicos ou híbridos).
 - b) Condições relativas dos seguintes elementos construtivos:
 - i. Aberturas e bocas de ventilação;
 - ii. Condutas de admissão;
 - iii. Condutas de extração por ventilação híbrida;
 - iv. Condutas de extração por ventilação mecânica;
 - v. Aspirados híbridos, mecânicos e extratores;
 - vi. Janelas e portas exteriores
3. Cumprimento das condições de dimensionamento relativas a elementos construtivos;
4. Cumprimento das condições dos produtos de construção;
5. Cumprimento das condições de construção;
6. Cumprimento das condições de manutenção e conservação.

A secção HS3 caracteriza e quantifica algumas necessidades que devem ser seguidas [20]:

- 1) O número de ocupantes é considerado igual a:
 - a) Um em cada quarto individual e dois em cada quarto de casal;
 - b) Em cada sala de jantar e em cada sala de estar, contabiliza-se a soma de todos os ocupantes dos quartos de habitação.
- 2) São considerados caudais correspondentes ao de maior fluxo em locais da habitação destinados a vários usos;
- 3) Para cada compartimento, é obtido o caudal mínimo de ventilação para as instalações através da tabela seguinte:

Locais	Caudal de ventilação mínimo exigido q_v		
	Por Ocupante	Por m^2 útil	Em função de outros parâmetros
Quartos	5 l/s (18 m^3/h)		
Sala de estar e Sala de jantar	3 l/s (10,8 m^3/h)		
Instalações Sanitárias			15 l/s por local (54 m^3/h)
Cozinha		2 l/s (7,2 m^3/h)	50 l/s por local ⁽¹⁾ (180 m^3/h)
Arrumos e Zonas Comuns		0,7 l/s (2,52 m^3/h)	
Estacionamento e Garagens			120 l/s por local (432 m^3/h)
Armazenamento de resíduos		10 l/s (36 m^3/h)	

⁽¹⁾ Caudal correspondente à ventilação adicional específico da cozinha

Tabela 10 - Caudais de ventilação mínimos exigidos para cada compartimento [20]

- 4) As habitações devem ter um sistema de ventilação geral que pode ser híbrido ou mecânico;
- 5) Locais como cozinhas, salas de jantar, salas de estar e quartos devem ter um sistema complementar de ventilação natural, como tal, devem possuir janelas ou portas que permitam essa ventilação;
- 6) No caso específico das cozinhas, devido à libertação de vapores e contaminantes derivadas de atividades como cozinhar, estas devem dispor de um sistema adicional e independente de ventilação com extração mecânica.
- 7) Tanto as salas de jantar e salas de estar, como os quartos, devem possuir aberturas de admissão uma vez que o ar nestes locais tende a ser mais seco que em locais como as cozinhas e instalações sanitárias. Considerando este fator, estes compartimentos devem então dispor de aberturas de extração.

2.2.4.2. REGULAMENTAÇÃO FRANCESA – “ARRÊTÉ DU 24 MARS 1982 DISPOSITION RELATIVE Á L’AÉRATION DES LOGEMENTS”

A regulamentação francesa relacionada com a disposição da ventilação para habitações publicada a 24 de março de 1982, “Disposition Relative á L’aération des Logements” define quais as características e exigências gerais da ventilação nos edifícios e o modo de realizar a ventilação nos diversos compartimentos que compõem os edifícios de habitação [21]:

- 1) A entrada de ar nos compartimentos principais deve ser realizada através de aberturas nas fachadas, por condutas, ventilação natural ou através de dispositivos mecânicos;
- 2) A saída de ar nos compartimentos de serviço deve ser feita por condutas verticais, podendo o ar ser extraído por ventilação natural ou por dispositivos mecânicos;
- 3) O sentido da circulação do ar deverá ser dos compartimentos principais para os de serviço;
- 4) Os caudais-tipo de extração necessários em cada compartimento de serviço serão em função do número de compartimentos principais na habitação:

Número de compartimentos principais da habitação	Caudais-tipo de extração (m³/h)				
	Cozinha	Instalações sanitárias com ou sem duche	Outras instalações sanitárias	Casas de banho (WC)	
				Único	Múltiplo
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
5 ou mais	135	30	15	30	15

Tabela 11 - Caudais-tipo de extração em cada compartimento de serviço [21]

No entanto, com dispositivos individuais de regulação mecânica, os caudais anteriores podem ser reduzidos. De modo geral, os caudais totais extraídos e os caudais reduzidos em cozinhas são pelo menos iguais aos valores apresentados na seguinte tabela:

	Número de compartimentos principais						
	1	2	3	4	5	6	7
Caudal mínimo total (m³/h)	35	60	75	90	105	120	135
Caudal mínimo na cozinha (m³/h)	20	30	45	45	45	45	45

Tabela 12 - Caudais totais extraídos e caudais reduzidos em cozinhas [21]

Quando a ventilação for assegurada por um dispositivo mecânico que regula automaticamente a renovação do ar na habitação, de tal forma que os níveis de poluição do ar interior não constituam qualquer perigo para a saúde e que as condensações possam ser evitadas, os caudais definidos pela tabela acima podem ser reduzidos.

2.3. SÍNTESE CRÍTICA DO CAPÍTULO

Concluído o capítulo 2, é importante referir que:

- A humidade relativa e a temperatura são dois dos fatores mais relevantes na formação de bolores;
- Dos variados modelos existentes que preveem o crescimento e desenvolvimento de fungos, há dois de acentuada importância: modelo VTT e o modelo Isopletas;
- O modelo VTT é baseado em um modelo matemático que avalia o crescimento de fungos tendo em conta fatores como a humidade relativa, a temperatura, o tempo de exposição e o atraso na taxa de crescimento devido às condições desfavoráveis;
- No modelo Isopletas, originam-se curvas de limite de crescimento que definem a combinação mínima de temperatura e humidade relativa para que o crescimento de fungos ocorra;
- A formação de fungos é influenciada pela temperatura superficial, humidade relativa, teor de humidade, pelos nutrientes presentes no substrato, pH na superfície, quantidade de oxigénio e luz solar;
- O aparecimento de fungos ocorre, geralmente, em zonas frias uma vez que se trata de zonas propícias à formação de condensações superficiais;
- A ventilação em edifícios pode ser natural ou mecânica e existe, para cada país, exigências de ventilação diferentes;
- A norma portuguesa determina o caudal-tipo em função do volume útil dos compartimentos, já a francesa é em função do número de compartimentos existentes e a espanhola rege-se em função do número de ocupantes e área útil por compartimento.

3

Modelo simplificado de avaliação do risco de condensações

3.1. INTRODUÇÃO

Problemas de condensações superficiais interiores em habitações são recorrentes em grande parte dos edifícios, sendo que o estudo deste tipo de patologia é necessário e crucial, podendo ser feito de várias maneiras.

Neste capítulo é abordado, explorado e explicado um modelo, através de uma folha de cálculo Excel, tendo em conta vários parâmetros fundamentais, que permitem avaliar se ocorrem ou não condensações.

É possível saber se ocorrem condensações através do diagrama psicrométrico, ferramenta prática e fácil para situações limite, no entanto, não permite variações de diversos parâmetros. Neste caso, a folha de cálculo referida anteriormente, conduz a um resultado que considera os múltiplos parâmetros que condicionam este fenómeno e é de fácil leitura.

3.2. MODELO DE CÁLCULO – FOLHA EXCEL

No diagrama psicrométrico, é possível avaliar graficamente o risco de condensações superficiais interiores tendo em atenção a comparação entre os valores da pressão interior com a pressão de saturação à superfície, isto é, se a temperatura superficial do elemento construtivo em estudo for inferior ou igual à temperatura de ponto de orvalho (Tpo), ocorrem condensações. [22]

Pode, no entanto, desenvolver-se um modelo de cálculo com recurso a uma folha Excel para a obtenção da comparação da pressão de vapor de ar interior (P_i) e a pressão de saturação na superfície interior da envolvente (P_s). Caso, P_i seja superior ou igual a P_s há ocorrência de condensações.

Neste trabalho desenvolveu-se essa folha de cálculo, cuja estrutura se evidencia no diagrama da figura 11, que explicita os passos efetuados.

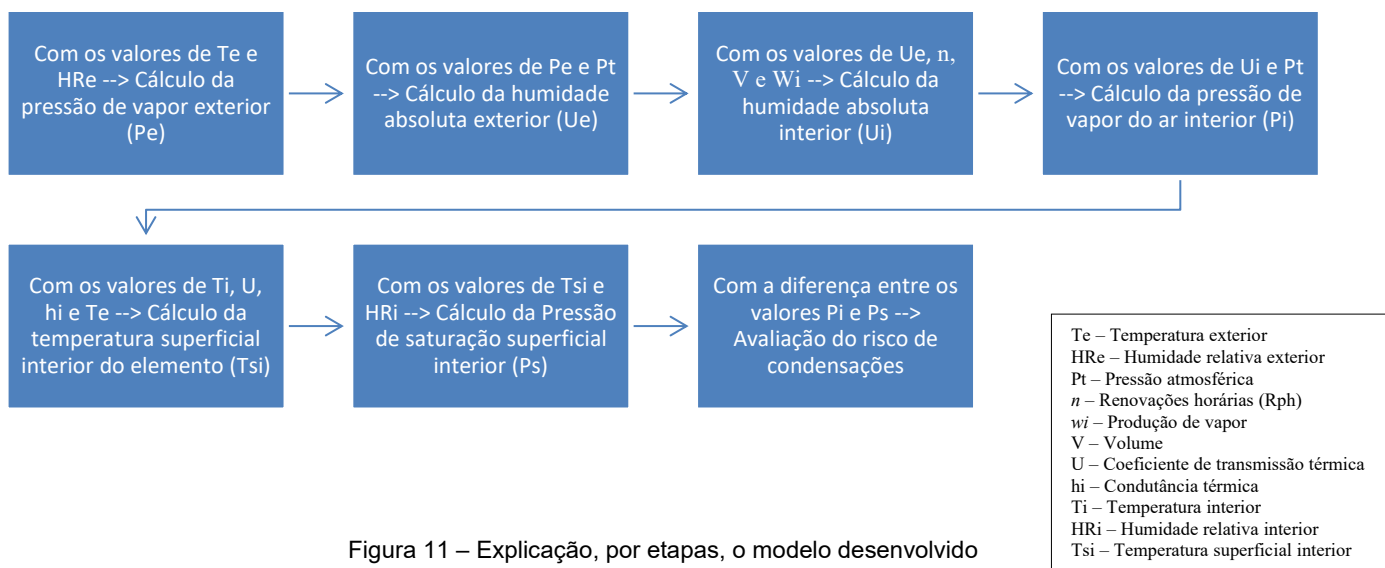


Figura 11 – Explicação, por etapas, o modelo desenvolvido

Assim, com as etapas enumeradas de forma sucinta, na Tabela 13 será apresentada uma tabela tipo da folha de cálculo e, de seguida, a respetiva legenda.

U(W/m²°C) = 0,65 A			<table><tr><td>E</td><td>wi (g/h)</td><td>150</td><td>300</td><td>450</td><td>600</td><td>750</td><td>F</td><td>900</td><td>150</td><td>900</td><td>150</td><td>900</td><td>150</td><td>900</td></tr><tr><td></td><td>n (Rph)</td><td>0,6</td><td>0,6</td><td>0,6</td><td>0,6</td><td>0,6</td><td></td><td>0,6</td><td>0,8</td><td>0,8</td><td>1</td><td>1</td><td>1,2</td><td>1,2</td></tr><tr><td>G</td><td>Vi (m³)</td><td>200</td><td>200</td><td>200</td><td>200</td><td>200</td><td>H</td><td>200</td><td>200</td><td>200</td><td>200</td><td>200</td><td>200</td><td>200</td></tr><tr><td></td><td>Q (m³/h)</td><td>120</td><td>120</td><td>120</td><td>120</td><td>120</td><td></td><td>120</td><td>160</td><td>160</td><td>200</td><td>200</td><td>240</td><td>240</td></tr></table>												E	wi (g/h)	150	300	450	600	750	F	900	150	900	150	900	150	900		n (Rph)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6	0,8	0,8	1	1	1,2	1,2	G	Vi (m³)	200	200	200	200	200	H	200	200	200	200	200	200	200		Q (m³/h)	120	120	120	120	120		120	160	160	200	200	240	240
E	wi (g/h)	150	300	450	600	750	F	900	150	900	150	900	150	900																																																												
	n (Rph)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6	0,8	0,8	1	1	1,2	1,2																																																												
G	Vi (m³)	200	200	200	200	200	H	200	200	200	200	200	200	200																																																												
	Q (m³/h)	120	120	120	120	120		120	160	160	200	200	240	240																																																												
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações - (Pi-Ps)																																																																							
-5 B	12 D	105000	Risco de condensações - (Pi-Ps)	-730,4	-558,4	-387,0	-216,2	-45,9	123,9	-773,5	-130,9	-799,3	-284,4	-816,6	-387,0																																																											
		103000		-733,8	-565,1	-397,0	-229,4	-62,4	104,1	-776,0	-145,8	-801,4	-296,3	-818,3	-397,0																																																											
		101000		-737,1	-571,7	-406,9	-242,6	-78,9	84,4	-778,6	-160,7	-803,4	-308,3	-820,0	-406,9																																																											
		99500		-739,7	-576,7	-414,4	-252,5	-91,2	69,5	-780,5	-171,8	-805,0	-317,2	-821,3	-414,4																																																											
		98000		-742,2	-581,7	-421,8	-262,5	-103,6	54,7	-782,4	-183,0	-806,5	-326,2	-822,6	-421,8																																																											
		96000		-745,6	-588,4	-431,8	-275,7	-120,1	35,0	-784,9	-197,8	-808,5	-338,1	-824,3	-431,8																																																											
	14 C	105000		-896,3	-724,3	-552,9	-382,1	-211,8	-42,1	-939,4	-296,9	-965,3	-450,4	-982,5	-552,9																																																											
		103000		-899,7	-731,0	-562,9	-395,3	-228,3	-61,8	-941,9	-311,7	-967,3	-462,3	-984,2	-562,9																																																											
		101000		-903,0	-737,7	-572,8	-408,5	-244,8	-81,6	-944,5	-326,6	-969,4	-474,2	-985,9	-572,8																																																											
		99500		-905,6	-742,7	-580,3	-418,5	-257,2	-96,4	-946,4	-337,7	-970,9	-483,1	-987,2	-580,3																																																											
		98000		-908,1	-747,7	-587,8	-428,4	-269,5	-111,2	-948,3	-348,9	-972,4	-492,1	-988,5	-587,8																																																											
		96000		-911,5	-754,3	-597,7	-441,6	-286,0	-131,0	-950,8	-363,8	-974,5	-504,0	-990,2	-597,7																																																											

Tabela 13 - Tabela tipo de resultados do modelo desenvolvido

As células correspondentes às letras de A a G, necessitam da introdução de valores, já da H a G são valores dados pela folha de cálculo. Todas as células de I a K, dizem respeito ao resultado do cruzamento de todos os dados da linha e coluna correspondente.

A – Nesta célula é introduzido o valor do coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo;

B – O valor desta coluna corresponde à temperatura média exterior para um dado mês;

C – Este campo diz respeito ao valor da temperatura interior;

D – Valor da pressão atmosférica (parâmetro pouco relevante);

E – Valores para a produção de vapor interior em função do tipo de atividade desenvolvida no espaço;

F – Neste local são introduzidas as renovações horárias (rph);

G – Volume do espaço em questão;

H – Nesta linha não é necessária a introdução de valores, a própria linha está programa para fazer a multiplicação $n \cdot V$;

I – As células neste campo representam os valores de ΔP . Sendo o seu valor positivo, estas estão pintadas a vermelho correspondendo a situações para as quais há risco de condensação;

J – Tal como na célula I, estas representam os valores de ΔP , porém são valores negativos. Como são valores próximos de zero, estão pintadas a amarelo simbolizando um risco potencial de condensações;

K – São células que representam os valores de ΔP . Como são valores bastante negativos, não apresentam risco de condensações.

É importante salientar que para cada célula de resultados, derivada do cruzamento das condições exteriores, da envolvente e interiores, é possível calcular a humidade relativa interior através do quociente de $\frac{P_i}{P_s}$.

A título de exemplo, calcular-se-á a humidade relativa interior para a célula I, J e K.

Assim sendo, para a célula I obteve-se um valor de $P_i = 1385,87 \text{ Pa}$ e de $P_s = 1281,8 \text{ Pa}$. Fazendo o quociente entre estes dois valores, tem-se uma humidade relativa interior igual a 100%. Quanto maior for o valor positivo de ΔP maior o risco de condensações.

Para a célula J tem-se um valor de $P_i = 1405,62 \text{ Pa}$ e de $P_s = 1447,7 \text{ Pa}$. Fazendo o quociente entre estes dois valores, chega-se a um valor de humidade relativa interior próximo de 97%. Como se trata de um valor negativo de ΔP , mas próximo de zero (risco potencial de condensação), a humidade relativa será inferior a 100%, porém não se afastará muito deste valor.

A célula K conta com um valor de $P_i = 874,84 \text{ Pa}$ e de $P_s = 1447,7 \text{ Pa}$. Através do quociente destes dois valores, obteve-se um valor de aproximado de 60% de humidade relativa interior. Como se trata de um valor negativo de ΔP (sem risco de condensações), o valor da humidade relativa interior será distante dos 100%.

Nos subcapítulos seguintes, será feita uma explicação mais pormenorizada do procedimento realizado.

3.2.1. CÁLCULO DA PRESSÃO DE VAPOR EXTERIOR

De modo a que a presente folha de cálculo fosse o mais abrangente possível, foram atribuídos intervalos de temperaturas exterior distanciados de 5°C em 5°C com valores compreendidos entre os -5°C e os 25°C .

Pelos mesmos motivos, relativamente à Humidade Relativa exterior (%) foram considerados os seguintes valores: 60%, 70%, 80% e 95%.

Assim, com os dados anteriores e conjugando-os entre todos sequencialmente, foi possível calcular a Pressão de vapor exterior – P_e (Pa) recorrendo à seguinte fórmula:

$$P_e = 611 \times e^{\left(\frac{a \times T_e}{\theta' + T_e}\right)} \times HR \text{ (Pa)} \quad (1)$$

Se $\theta < 0$ $a = 22,44$ e $\theta' = 272,44$

Se $\theta > 0$ $a = 17,08$ e $\theta' = 234,18$

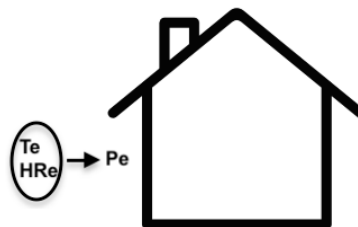


Figura 12 - Pressão de vapor exterior

Te (°C)	HR exterior (%)	Pe (Pa)
-5	95	381,56
	80	321,31
	70	281,15
	60	240,99
0	95	580,45
	80	488,80
	70	427,70
	60	366,60
5	95	829,53
	80	698,55
	70	611,23
	60	523,91
10	95	1168,28
	80	983,81
	70	860,84
	60	737,86
15	95	1622,91
	80	1366,66
	70	1195,83
	60	1025,00
20	95	2225,49
	80	1874,10
	70	1639,84
	60	1405,57
25	95	3014,86
	80	2538,83
	70	2221,47
	60	1904,12

Tabela 14 - Valores de T_e , HR e P_e da folha Excel

3.2.2. CÁLCULO DA HUMIDADE ABSOLUTA EXTERIOR

Obtidos os diferentes valores de P_e para cada condição e com valores da Pressão atmosférica – P_t (Pa), é possível quantificar a humidade absoluta exterior – U_e (g/kg) utilizando a fórmula seguinte:

$$U_e = 0,622 \times \frac{P_e}{P_t + P_e} \quad (2)$$

Para a Pressão atmosférica, adotaram-se valores intermédios nos intervalos de Pressão atmosférica para as várias zonas do nosso País, disponibilizados pelo IPMA. ($P_t = 105000, 103000, 101000, 99500, 98000, 96000$ Pa)

Dada a elevada quantidade de valores de P_e (Pa), na tabela 15 apenas são evidenciados alguns valores exemplo, respetivamente assinalados na tabela 14. No caso de uma temperatura exterior de -5°C , podemos seleccionar valores de P_e tendo em conta as diferentes Humidade Relativa entre 60 e 95%. Já para os restantes valores de T_e , apenas são apresentados resultados para um valor de P_e , escolhidos de forma arbitrária.

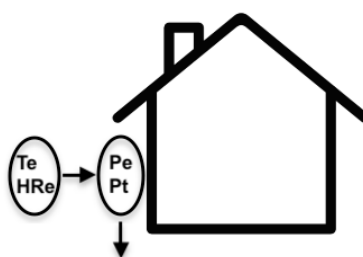


Figura 13 - Imagem ilustrativa da humidade absoluta exterior

Pe (Pa)	Pt (Pa)	Ue (g/kg)			
240,99	105000	1,4308	1025,00	105000	6,0132
	103000	1,4587		103000	6,1288
	101000	1,4876		101000	6,2489
	99500	1,5101		99500	6,3422
	98000	1,5333		98000	6,4382
	96000	1,5653		96000	6,5710
281,15	105000	1,6610	1168,28	105000	6,8445
	103000	1,6932		103000	6,9759
	101000	1,7266		101000	7,1125
	99500	1,7526		99500	7,2185
	98000	1,7793		98000	7,3276
	96000	1,8163		96000	7,4785
321,31	105000	1,8976	1622,91	105000	9,4675
	103000	1,9343		103000	9,6485
	101000	1,9725		101000	9,8365
	99500	2,0022		99500	9,9824
	98000	2,0327		98000	10,1327
	96000	2,0749		96000	10,3403
381,56	105000	2,2521	2225,49	105000	12,9098
	103000	2,2957		103000	13,1551
	101000	2,3410		101000	13,4100
	99500	2,3761		99500	13,6078
	98000	2,4124		98000	13,8114
	96000	2,4624		96000	14,0926
580,45	105000	3,4196	3014,86	105000	17,3609
	103000	3,4856		103000	17,6885
	101000	3,5542		101000	18,0286
	99500	3,6075		99500	18,2924
	98000	3,6624		98000	18,5640
	96000	3,7382		96000	18,9390

 Tabela 15 - Valores de P_e , P_t e U_e

3.2.3. CÁLCULO DA HUMIDADE ABSOLUTA INTERIOR

Obtidos os valores de U_e anteriormente, e considerando valores de produção de vapor – ωi (g/h), de renovações horárias – n (Rph) e do volume – V_i (m³), podemos retirar, através da fórmula apresentada, a humidade absoluta interior – U_i (g/kg).

$$U_i \cong U_e + 0,825 \times \frac{\omega i}{n \times V_i} \quad (3)$$

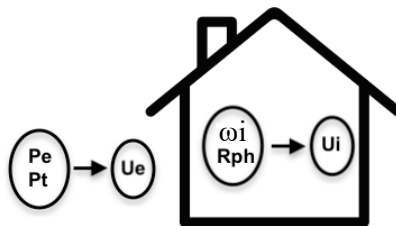


Figura 14 - Quantificação da humidade absoluta interior

Os valores de ω_i são ponderados considerando o tipo de utilização do local em estudo, no entanto, tendo em conta que neste estudo não foi estipulado nenhum local nem atividade em concreto, foram atribuídos valores espaçados de 150 g/h, de 150 até 900 g/h.

Tal como para os valores de produção de vapor, o mesmo acontece no caso do número de renovações horárias, em que estes valores dependem do compartimento a que é feito o estudo. Também aqui, de modo a ser mais abrangente, foram adotados valores de 0,6, 0,8, 1 e 1,2 rph.

Em relação ao volume, também este depende do espaço em análise, porém, neste caso específico, foi usado um volume constante de 200 m³.

ω_i (g/h)	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900
n (Rph)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
V_i (m³)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Q (m³/h)	120	120	120	120	120	120	160	160	160	160	160	160

Tabela 16 - Valores de ω_i , n e V_i

O caudal deriva da multiplicação do volume (V_i) com as renovações horárias (n), sendo que esta linha só foi criada de modo a facilitar os cálculos na folha Excel.

Assim, conjugando todos estes parâmetros com a aplicação da fórmula 3. podemos então obter os vários valores do teor de humidade interior – U_i .

	ω_i (g/h)	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900	150	300	450
	n (Rph)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1	1
	V_i (m³)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	Q (m³/h)	120	120	120	120	120	120	160	160	160	160	160	160	200	200	200
U_e (g/kg)		U_i (g/kg)														
1,4308		2,46	3,49	4,52	5,56	6,59	7,62	2,20	2,98	3,75	4,52	5,30	6,07	2,05	2,67	3,29
1,4587		2,49	3,52	4,55	5,58	6,61	7,65	2,23	3,01	3,78	4,55	5,33	6,10	2,08	2,70	3,31
1,4876		2,52	3,55	4,58	5,61	6,64	7,68	2,26	3,03	3,81	4,58	5,35	6,13	2,11	2,73	3,34
1,5101		2,54	3,57	4,60	5,64	6,67	7,70	2,28	3,06	3,83	4,60	5,38	6,15	2,13	2,75	3,37
1,5333		2,56	3,60	4,63	5,66	6,69	7,72	2,31	3,08	3,85	4,63	5,40	6,17	2,15	2,77	3,39
1,5553		2,60	3,63	4,66	5,69	6,72	7,75	2,34	3,11	3,89	4,66	5,43	6,21	2,18	2,80	3,42
1,6610		2,69	3,72	4,75	5,79	6,82	7,85	2,43	3,21	3,98	4,75	5,53	6,30	2,28	2,90	3,52
1,6932		2,72	3,76	4,79	5,82	6,85	7,88	2,47	3,24	4,01	4,79	5,56	6,33	2,31	2,93	3,55
1,7266		2,76	3,79	4,82	5,85	6,88	7,91	2,50	3,27	4,05	4,82	5,59	6,37	2,35	2,96	3,58
1,7526		2,78	3,82	4,85	5,88	6,91	7,94	2,53	3,30	4,07	4,85	5,62	6,39	2,37	2,99	3,61
1,7793		2,81	3,84	4,87	5,90	6,94	7,97	2,55	3,33	4,10	4,87	5,65	6,42	2,40	3,02	3,64
1,8163		2,85	3,88	4,91	5,94	6,97	8,00	2,59	3,36	4,14	4,91	5,68	6,46	2,44	3,05	3,67
1,8976		2,93	3,96	4,99	6,02	7,05	8,09	2,67	3,44	4,22	4,99	5,76	6,54	2,52	3,14	3,75
1,9343		2,97	4,00	5,03	6,06	7,09	8,12	2,71	3,48	4,25	5,03	5,80	6,57	2,55	3,17	3,79
1,9725		3,00	4,04	5,07	6,10	7,13	8,16	2,75	3,52	4,29	5,07	5,84	6,61	2,59	3,21	3,83
2,0022		3,03	4,06	5,10	6,13	7,16	8,19	2,78	3,55	4,32	5,10	5,87	6,64	2,62	3,24	3,86
2,0327		3,06	4,10	5,13	6,16	7,19	8,22	2,81	3,58	4,35	5,13	5,90	6,67	2,65	3,27	3,89
2,0749		3,11	4,14	5,17	6,20	7,23	8,26	2,85	3,62	4,40	5,17	5,94	6,72	2,69	3,31	3,93
2,2521		3,28	4,31	5,35	6,38	7,41	8,44	3,03	3,80	4,57	5,35	6,12	6,89	2,87	3,49	4,11
2,2957		3,33	4,36	5,39	6,42	7,45	8,48	3,07	3,84	4,62	5,39	6,16	6,94	2,91	3,53	4,15
2,3410		3,37	4,40	5,43	6,47	7,50	8,53	3,11	3,89	4,66	5,43	6,21	6,98	2,96	3,58	4,20
2,3761		3,41	4,44	5,47	6,50	7,53	8,56	3,15	3,92	4,70	5,47	6,24	7,02	2,99	3,61	4,23
2,4124		3,44	4,47	5,51	6,54	7,57	8,60	3,19	3,96	4,73	5,51	6,28	7,05	3,03	3,65	4,27
2,4624		3,49	4,52	5,56	6,59	7,62	8,65	3,24	4,01	4,78	5,56	6,33	7,10	3,08	3,70	4,32

Tabela 17 – Alguns valores de U_i da folha Excel

3.2.4. CÁLCULO DA PRESSÃO DE VAPOR DO AR INTERIOR

Com os valores calculados anteriormente, podemos prosseguir ao cálculo da pressão de vapor do ar interior – P_i (Pa) com base na seguinte expressão:

$$P_i = \frac{U_i \times P_t}{0,622 + U_i} \quad (4)$$

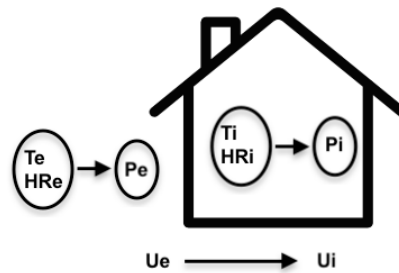


Figura 15 - Pressão de vapor do ar interior

wi (g/h)	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900	150	300
n (Rph)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1
Vi (m³)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Q (m³/h)	120	120	120	120	120	120	160	160	160	160	160	160	200	200
Pi (Pa)	Pi (Pa)													
	413,99	586,42	758,28	929,58	1100,32	1270,49	370,79	500,27	629,44	758,28	886,81	1015,02	344,86	448,52
	410,68	579,81	748,38	916,40	1083,87	1250,79	368,31	495,31	622,00	748,38	874,45	1000,21	342,87	444,55
	407,37	573,20	738,48	903,23	1067,43	1231,09	365,82	490,35	614,57	738,48	862,09	985,40	340,88	440,58
	404,88	568,24	731,06	893,34	1055,10	1216,32	363,96	486,63	609,00	731,06	852,82	974,29	339,39	437,60
	402,40	563,28	723,64	883,46	1042,76	1201,54	362,10	482,91	603,42	723,64	843,56	963,18	337,90	434,62
	399,09	556,67	713,74	870,29	1026,32	1181,85	359,61	477,95	595,99	713,74	831,20	948,37	335,91	430,65
	452,53	624,83	796,57	967,74	1138,35	1308,40	409,36	538,75	667,82	796,57	925,00	1053,12	383,45	487,03
	449,19	618,19	786,64	954,53	1121,88	1288,68	406,85	533,76	660,36	786,64	912,61	1038,28	381,43	483,03
	445,85	611,55	776,71	941,33	1105,41	1268,95	404,33	528,77	652,89	776,71	900,23	1023,43	379,41	479,03
	443,34	606,57	769,26	931,42	1093,05	1254,15	402,45	525,02	647,29	769,26	890,93	1012,30	377,90	476,03
	440,83	601,59	761,82	921,52	1080,70	1239,35	400,56	521,28	641,70	761,82	881,64	1001,17	376,38	473,03
	437,49	594,95	751,89	908,31	1064,22	1219,62	398,04	516,28	634,23	751,89	869,25	986,33	374,36	469,02
	432,10	664,28	835,88	1006,93	1177,41	1347,33	448,97	578,26	707,23	835,88	964,22	1092,24	423,07	526,58
	488,75	657,63	825,95	993,71	1160,93	1327,60	446,45	573,26	699,76	825,95	951,82	1077,39	421,05	522,57
	485,41	650,98	816,01	980,50	1144,45	1307,86	443,93	568,26	692,29	816,01	939,43	1062,54	419,02	518,56
	482,89	645,99	808,56	970,59	1132,09	1293,06	442,03	564,51	686,68	808,56	930,13	1051,40	417,50	515,56
	480,38	641,00	801,10	960,67	1119,72	1278,25	440,14	560,76	681,08	801,10	920,83	1040,26	415,98	512,55
	477,02	634,35	791,16	947,45	1103,24	1258,51	437,61	555,75	673,60	791,16	908,43	1025,41	413,95	508,53
	551,35	723,33	894,75	1065,60	1235,89	1405,62	508,27	637,41	766,24	894,75	1022,94	1150,81	482,40	585,80
	547,99	716,67	884,80	1052,37	1219,39	1385,87	505,73	632,40	758,75	884,80	1010,53	1135,95	480,36	581,77
	544,63	710,01	874,84	1039,14	1202,89	1366,12	503,20	627,38	751,27	874,84	998,11	1121,08	478,32	577,75
	542,10	705,01	867,38	1029,21	1190,52	1351,30	501,29	623,62	745,65	867,38	988,80	1109,93	476,79	574,72
	539,57	700,00	859,91	1019,29	1178,14	1336,48	499,38	619,86	740,03	859,91	979,49	1098,78	475,25	571,70
	536,20	693,33	849,95	1006,05	1161,64	1316,72	496,84	614,83	732,54	849,95	967,07	1083,91	473,20	567,67
	746,01	917,34	1088,12	1258,34	1428,00	1597,10	703,08	831,75	960,09	1088,12	1215,84	1343,24	677,31	780,32
	742,57	910,61	1078,10	1245,04	1411,44	1577,29	700,48	826,66	952,54	1078,10	1203,36	1328,31	675,20	776,23
	739,14	903,88	1068,08	1231,74	1394,87	1557,46	697,87	821,58	944,98	1068,08	1190,88	1313,37	673,09	772,13
736,56	898,82	1060,56	1221,76	1382,44	1542,59	695,91	817,76	939,31	1060,56	1181,51	1302,17	671,50	769,05	
733,97	893,77	1053,03	1211,78	1370,01	1527,72	693,94	813,94	933,63	1053,03	1172,14	1290,96	669,91	765,97	
730,52	887,02	1043,00	1198,47	1353,43	1507,88	691,32	808,83	926,06	1043,00	1159,65	1276,01	667,78	761,86	
1175,86	1345,78	1515,16	1683,98	1852,25	2019,98	1133,29	1260,89	1388,18	1515,16	1641,83	1768,19	1107,73	1209,89	
1172,17	1338,80	1504,89	1670,44	1835,44	1999,91	1130,43	1255,56	1380,38	1504,89	1629,10	1753,01	1105,37	1205,54	
1168,48	1331,81	1494,61	1656,88	1818,62	1979,84	1127,56	1250,21	1372,56	1494,61	1616,36	1737,82	1102,99	1201,19	

Tabela 18 – Alguns valores de P_i da folha Excel

3.2.5. CÁLCULO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DO ELEMENTO

Tendo já os valores da pressão de vapor interior, é necessário saber os valores da pressão de vapor de saturação na superfície do elemento para que consigamos perceber se há ou não ocorrência de condensações.

Para tal, primeiramente, é preciso calcular a temperatura superficial do elemento – T_{si} (°C) por meio da fórmula apresentada a seguir:

$$T_{si} = T_i - \frac{U}{h_i} \times (T_i - T_e) \quad (5)$$

Observando a equação acima apresentada, é necessário conhecer o valor da temperatura interior e exterior (valores usados referidos anteriormente), o coeficiente de transmissão térmica – U (W/m²°C) e a condutância térmica superficial – h_i (W/m²°C).

No caso do coeficiente de transmissão térmica, o seu valor varia dependendo do elemento construtivo em causa, isto é, depende do tipo de pano de alvenaria e da sua espessura, se é uma parede dupla ou simples, se contém isolamento térmico ou não, no caso de conter isolamento térmico se este é pelo interior ou exterior e o tipo de isolante térmico. Tendo em conta todos estes fatores que ditam o valor de U , e como neste estudo não há nenhum elemento construtivo específico, assumiram-se dois valores para U : $U = 0,65$ W/m²°C e $U = 2$ W/m²°C correspondendo a uma parede com isolamento térmico e uma parede sem isolamento térmico, respetivamente.

Para o valor da condutância térmica superficial, neste caso de estudo, assumiu-se que se trata duma parede vertical em que o sentido do fluxo é horizontal, usando assim o valor de $h_i = 8$ W/m²°C.

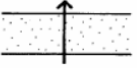
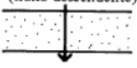
Posição das paredes e sentido do fluxo	Unidades	Paredes exteriores					Paredes interiores				
		h_i	$\frac{1}{h_i}$	h_e	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	h_i	$\frac{1}{h_i}$	h_e	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$
Parede vertical 	W/m ² °C	8	—	20	—	—	8	—	8	—	—
	m ² °C/W	—	0,12	—	0,05	0,17	—	0,12	—	0,12	0,24
Parede horizontal (fluxo ascendente) 	W/m ² °C	11	—	20	—	—	10	—	10	—	—
	m ² °C/W	—	0,09	—	0,05	0,14	—	0,10	—	0,10	0,20
Parede horizontal (fluxo descendente) 	W/m ² °C	6	—	20	—	—	6	—	6	—	—
	m ² °C/W	—	0,17	—	0,05	0,22	—	0,17	—	0,17	0,34

Tabela 19 - Valores da condutância térmica superficial [23]

Com os todos os valores atribuídos aos parâmetros necessários para o cálculo de T_{si} , na folha de Excel foram feitas duas tabelas em que se calculou a temperatura superficial do elemento construtivo para um coeficiente de transmissão térmica igual a $0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e outra tabela para um coeficiente de transmissão térmica igual a $2 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Assim, visualizando as duas tabelas abaixo, podemos perceber o efeito que o elemento construtivo tem no valor da temperatura superficial.

Te (°C)	Ti (°C)	U(W/m²°C)	hi (W/m²°C)	Tsi (°C)
-5	12	0,65	8	10,6
	14			12,5
	16			14,3
	18			16,1
	20			18,0
	22			19,8
0	12	0,65	8	11,0
	14			12,9
	16			14,7
	18			16,5
	20			18,4
	22			20,2
5	12	0,65	8	11,4
	14			13,3
	16			15,1
	18			16,9
	20			18,8
	22			20,6
10	12	0,65	8	11,8
	14			13,7
	16			15,5
	18			17,4
	20			19,2
	22			21,0
15	12	0,65	8	12,2
	14			14,1
	16			15,9
	18			17,8
	20			19,6
	22			21,4
20	12	0,65	8	12,7
	14			14,5
	16			16,3
	18			18,2
	20			20,0
	22			21,8
25	12	0,65	8	13,1
	14			14,9
	16			16,7
	18			18,6
	20			20,4
	22			22,2

Tabela 21 - Valores da temperatura superficial do elemento com $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Te (°C)	Ti (°C)	U(W/m²°C)	hi (W/m²°C)	Tsi (°C)
-5	12	2	8	7,8
	14			9,3
	16			10,8
	18			12,3
	20			13,8
	22			15,3
0	12	2	8	9,0
	14			10,5
	16			12,0
	18			13,5
	20			15,0
	22			16,5
5	12	2	8	10,3
	14			11,8
	16			13,3
	18			14,8
	20			16,3
	22			17,8
10	12	2	8	11,5
	14			13,0
	16			14,5
	18			16,0
	20			17,5
	22			19,0
15	12	2	8	12,8
	14			14,3
	16			15,8
	18			17,3
	20			18,8
	22			20,3
20	12	2	8	14,0
	14			15,5
	16			17,0
	18			18,5
	20			20,0
	22			21,5
25	12	2	8	15,3
	14			16,8
	16			18,3
	18			19,8
	20			21,3
	22			22,8

Tabela 20 - Valores da temperatura superficial do elemento com $U = 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$

3.2.6. CÁLCULO DA PRESSÃO DE VAPOR DE SATURAÇÃO SUPERFICIAL INTERIOR

Por fim, e com os valores de T_{si} correspondentes a cada U , procedeu-se ao cálculo final da pressão de vapor de saturação na superfície do elemento, através da fórmula a seguir, para que seja possível concluir a ocorrência ou não de condensações.

$$P_s = 611 \times e^{\left(\frac{a \times T_{si}}{\theta' + T_{si}}\right)} \times HR \quad (6)$$

Se $\theta < 0$ $a=22,44$ e $\theta'=272,44$

Se $\theta > 0$ $a=17,08$ e $\theta'=234,18$

Te (°C)	Ti (°C)	U(W/m²)	hi (W)	Tsi (°C)	Ps (Pa)
-5	12	0,65	8	10,6	1281,8
	14			12,5	1447,7
	16			14,3	1632,1
	18			16,1	1836,9
	20			18,0	2063,7
	22			19,8	2314,7
0	12	0,65	8	11,0	1316,9
	14			12,9	1486,8
	16			14,7	1675,6
	18			16,5	1885,0
	20			18,4	2117,0
	22			20,2	2373,6
5	12	0,65	8	11,4	1352,9
	14			13,3	1526,9
	16			15,1	1720,1
	18			16,9	1934,3
	20			18,8	2171,6
	22			20,6	2433,9
10	12	0,65	8	11,8	1389,8
	14			13,7	1567,8
	16			15,5	1765,5
	18			17,4	1984,7
	20			19,2	2227,3
	22			21,0	2495,5
15	12	0,65	8	12,2	1427,6
	14			14,1	1609,8
	16			15,9	1812,1
	18			17,8	2036,3
	20			19,6	2284,3
	22			21,4	2558,4
20	12	0,65	8	12,7	1466,2
	14			14,5	1652,7
	16			16,3	1859,7
	18			18,2	2089,0
	20			20,0	2342,6
	22			21,8	2622,7
25	12	0,65	8	13,1	1505,8
	14			14,9	1696,7
	16			16,7	1908,4
	18			18,6	2142,9
	20			20,4	2402,2
	22			22,2	2688,4

Tabela 22 - Valores da Pressão de vapor de saturação superficial do elemento com
U = 0,65 W/m²°C

Te (°C)	Ti (°C)	U(W/m²)	hi (W)	Tsi (°C)	Ps (Pa)
-5	12	2	8	7,8	1056,0
	14			9,3	1169,2
	16			10,8	1293,0
	18			12,3	1428,2
	20			13,8	1575,5
	22			15,3	1736,0
0	12	2	8	9,0	1149,7
	14			10,5	1271,6
	16			12,0	1404,8
	18			13,5	1550,1
	20			15,0	1708,3
	22			16,5	1880,5
5	12	2	8	10,3	1250,5
	14			11,8	1381,8
	16			13,3	1525,0
	18			14,8	1681,0
	20			16,3	1850,8
	22			17,8	2035,5
10	12	2	8	11,5	1359,1
	14			13,0	1500,3
	16			14,5	1654,1
	18			16,0	1821,5
	20			17,5	2003,6
	22			19,0	2201,5
15	12	2	8	12,8	1475,9
	14			14,3	1627,5
	16			15,8	1792,6
	18			17,3	1972,2
	20			18,8	2167,3
	22			20,3	2379,1
20	12	2	8	14,0	1601,3
	14			15,5	1764,1
	16			17,0	1941,2
	18			18,5	2133,7
	20			20,0	2342,6
	22			21,5	2569,2
25	12	2	8	15,3	1736,0
	14			16,8	1910,7
	16			18,3	2100,5
	18			19,8	2306,6
	20			21,3	2530,2
	22			22,8	2772,4

Tabela 23 - Valores da Pressão de vapor de saturação superficial do elemento com
U = 2 W/m²°C

3.2.7. AVALIAÇÃO DO RISCO DE OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES

Concluídos os cálculos e obtidos todos os valores necessários do cruzamento de todos os dados anteriormente referidos, podemos prosseguir à comparação dos valores da pressão de vapor interior com os valores de pressão de vapor de saturação superficial do elemento e perceber que sempre que o valor de P_i for superior ao valor de P_s , existirão condensações.

De modo a ter uma melhor noção do risco de ocorrência de condensações, foi feita a diferença entre P_i e P_s , ou seja, ΔP que, sempre que for positivo (célula a vermelho), indicará a ocorrência de condensações. Assim, um valor positivo maior, derivado dessa diferença, traduzir-se-á num maior risco de condensações, pelo contrário, um valor negativo traduzirá uma ausência de risco tanto menor, quando maior em valor absoluto. As células a amarelo traduzem, para certas condições, um potencial risco de ocorrência de condensações.

$$\boxed{U(W/m^2 \cdot ^\circ C) = 0,65}$$

U(W/m²°C) = 0,65				Risco de condensação - (Pi-Pa)																											
				w (g/h)	150	300	600	750	900	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900				
				n (Rph)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
				V (m³/s)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200				
				Q (m³/h)	120	120	120	120	120	120	160	160	160	160	160	160	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200				
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)																													
12	10500			-730,4	-558,4	-387,0	-276,2	-145,9	123,3	-773,5	-644,3	-515,5	-387,0	-258,8	-130,9	-799,3	-636,0	-532,8	-489,8	-387,0	-284,4	-816,6	-730,4	-644,3	-558,4	-472,6	-387,0				
	10300			-733,8	-561,1	-397,0	-229,4	-62,4	104,1	-776,6	-649,4	-523,0	-397,0	-271,2	-145,8	-801,4	-700,0	-598,8	-497,8	-397,0	-296,3	-818,3	-733,8	-649,4	-561,1	-481,0	-397,0				
	10100			-737,3	-575,7	-406,9	-242,6	-78,9	84,4	-778,6	-654,4	-530,6	-406,9	-283,6	-160,7	-803,4	-704,0	-604,8	-505,7	-406,9	-308,3	-820,0	-737,3	-654,7	-571,7	-489,3	-406,9				
	99500			-739,7	-576,7	-414,4	-252,9	-91,2	68,5	-780,5	-658,1	-536,1	-414,4	-292,9	-171,8	-805,0	-707,0	-609,3	-511,7	-414,4	-317,2	-821,3	-739,7	-658,1	-576,7	-495,5	-414,4				
	98000			-742,2	-581,7	-421,8	-262,5	-103,6	54,7	-782,4	-661,9	-541,7	-421,8	-302,3	-183,0	-806,5	-710,1	-613,8	-517,7	-421,8	-326,2	-822,6	-742,2	-661,9	-581,7	-501,7	-421,8				
	96000			-745,6	-584,8	-431,8	-275,0	-120,1	35,0	-784,9	-666,9	-549,2	-431,8	-314,7	-197,8	-808,5	-714,1	-619,8	-525,7	-431,8	-338,1	-824,3	-745,6	-666,9	-584,8	-510,0	-431,8				
	105000			-748,3	-582,9	-431,8	-275,0	-120,1	35,0	-784,9	-666,9	-549,2	-431,8	-314,7	-197,8	-808,5	-714,1	-619,8	-525,7	-431,8	-338,1	-824,3	-745,6	-666,9	-584,8	-510,0	-431,8				
	103000			-749,3	-583,7	-432,9	-276,0	-121,1	34,0	-785,9	-667,9	-550,2	-432,9	-315,7	-198,8	-809,5	-715,1	-620,8	-526,7	-432,9	-339,1	-825,3	-746,6	-667,9	-585,8	-511,0	-432,9				
	101000			-750,3	-584,7	-433,9	-277,0	-122,1	33,0	-786,9	-668,9	-551,2	-433,9	-316,7	-199,8	-810,5	-716,1	-621,8	-527,7	-433,9	-340,1	-826,3	-747,6	-668,9	-586,8	-512,0	-433,9				
	99500			-751,3	-585,7	-434,9	-278,0	-123,1	32,0	-787,9	-669,9	-552,2	-434,9	-317,7	-200,8	-811,5	-717,1	-622,8	-528,7	-434,9	-341,1	-827,3	-748,6	-669,9	-587,8	-513,0	-434,9				
98000			-752,3	-586,7	-435,9	-279,0	-124,1	31,0	-788,9	-670,9	-553,2	-435,9	-318,7	-201,8	-812,5	-718,1	-623,8	-529,7	-435,9	-342,1	-828,3	-749,6	-670,9	-588,8	-514,0	-435,9					
14	10500			-899,7	-731,0	-562,9	-395,3	-228,3	-61,8	-941,9	-815,3	-688,9	-562,9	-437,1	-311,7	-967,3	-865,9	-764,7	-663,7	-562,9	-462,3	-984,2	-899,7	-815,3	-731,0	-646,9	-562,9				

Tabela 24 - Avaliação do risco de condensações com $U=0,65$

$$U(W/m^2 \cdot ^\circ C) = 2$$

U(w/m²C) = 2			Risco de condensações - (Pi-Ps)																														
			wi (g/h)	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900						
			n (Rph)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2						
			Vi (m³)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200						
			Q (m³/h)	120	120	120	120	120	120	160	160	160	160	160	160	200	200	200	200	200	200	240	240	240	240	240	240						
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)																															
12	105000 103000 101000 99500 98000 96000 105000 103000 101000 99500 98000 96000	-504,6 -508,0 -511,4 -513,9 -516,4 -519,8 -617,9 -621,3 -624,6 -627,1 -629,7 -633,0	-332,7 -339,3 -346,0 -351,0 -356,0 -362,7 -445,9 -452,6 -459,2 -464,2 -469,2 -475,9	-161,2 -171,2 -181,2 -188,6 -196,1 -206,0 -274,5 -284,4 -294,4 -301,9 -309,3 -315,9	9,6 -3,6 -16,9 -26,8 -36,7 -49,9 66,6 50,1 33,7 21,3 8,9 -7,6	179,9 329,9 146,9 295,3 280,5 265,7 238,4 216,8 196,3 182,1 167,2 147,5	349,6 329,9 310,1 295,3 280,5 265,7 238,4 216,8 196,3 182,1 167,2 147,5	-547,7 -550,3 -552,8 -554,7 -556,6 -559,2 -661,0 -683,5 -686,0 -686,0 -686,9 -686,9 -686,9	-418,6 -423,6 -428,6 -432,4 -436,1 -441,2 -531,8 -536,8 -541,9 -545,6 -549,4 -554,4	-289,8 -297,2 -304,7 -310,3 -316,0 -323,5 -410,5 -405,8 -418,0 -418,0 -418,0 -418,0	-161,2 -171,2 -181,2 -188,6 -196,1 -206,0 -274,5 -284,4 -294,4 -301,9 -309,3 -315,9	-33,1 -45,5 -57,7 -67,8 -76,5 -88,9 -146,3 -158,7 -171,1 -182,9 -193,9 -202,2	-34,8 80,0 65,1 53,9 42,8 27,9 -68,6 -83,4 -69,0 -69,5 -69,5 -69,5	-573,6 -575,6 -577,7 -579,2 -580,7 -582,8 -686,8 -688,9 -690,9 -692,5 -694,5 -696,0	-470,2 -474,2 -478,2 -481,3 -484,3 -488,4 -583,4 -587,5 -591,5 -594,5 -596,0 -601,6	-367,0 -373,0 -379,0 -383,5 -388,0 -393,2 -480,3 -486,3 -492,3 -496,8 -501,3 -504,5	-264,0 -272,0 -280,0 -286,0 -292,0 -300,0 -377,3 -385,3 -393,2 -405,2 -410,2 -415,2	-161,2 -171,2 -181,2 -188,6 -196,1 -206,0 -274,5 -284,4 -294,4 -301,9 -309,3 -315,9	-58,7 -70,6 -82,5 -91,5 -100,4 -112,3 -171,9 -183,8 -195,8 -207,8 -213,6 -225,6	-590,8 -592,6 -594,3 -595,5 -596,8 -598,0 -693,4 -695,2 -696,9 -698,1 -699,4 -700,6	-504,6 -508,0 -511,4 -513,9 -516,4 -519,8 -617,9 -621,3 -624,6 -627,1 -629,7 -633,0	-418,6 -423,6 -428,6 -432,4 -436,1 -441,2 -531,8 -536,8 -541,9 -545,6 -549,4 -554,4	-332,7 -339,3 -346,0 -351,0 -356,0 -362,7 -445,9 -452,6 -459,2 -464,2 -469,2 -475,9	-246,9 -255,2 -263,5 -269,7 -276,0 -284,2 -360,1 -368,4 -376,8 -383,0 -389,2 -397,5	-161,2 -171,2 -181,2 -188,6 -196,1 -206,0 -274,5 -284,4 -294,4 -301,9 -309,3 -315,9								
																										Risco de condensações - (Pi-Ps)	105000 103000 101000 99500 98000 96000 105000 103000 101000 99500 98000 96000	-504,6 -508,0 -511,4 -513,9 -516,4 -519,8 -617,9 -621,3 -624,6 -627,1 -629,7 -633,0	-332,7 -339,3 -346,0 -351,0 -356,0 -362,7 -445,9 -452,6 -459,2 -464,2 -469,2 -475,9	-161,2 -171,2 -181,2 -188,6 -196,1 -206,0 -274,5 -284,4 -294,4 -301,9 -309,3 -315,9	9,6 -3,6 -16,9 -26,8 -36,7 -49,9 66,6 50,1 33,7 21,3 8,9 -7,6	179,9 329,9 146,9 295,3 280,5 265,7 238,4 216,8 196,3 182,1 167,2 147,5	349,6 329,9 310,1 295,3 280,5 265,7 238,4 216,8

Tabela 25 - Avaliação do risco de condensações com U=2

3.3. INFLUÊNCIA DO CLIMA EXTERIOR – BRAGANÇA, PORTO E LISBOA

De modo a possuir uma noção realista do risco de ocorrência de condensações em função do clima local, optou-se por usar as condições climáticas de 3 pontos distintos do país.

Assim, para cada um deles, serão utilizados valores da temperatura exterior média mensal e da humidade relativa exterior média mensal em 7 meses para cada cidade em questão.

Optou-se por utilizar apenas os dados dos meses de outubro a abril visto que são os meses em que a probabilidade de ocorrência de condensações é maior.

Relativamente ao coeficiente de transmissão térmica, que será um parâmetro que deverá ser considerado para a avaliação que é pretendida, serão usados apenas dois tipos de soluções construtivas, tal como foi apresentado no caso do ponto 3.2 ($U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ou $U = 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

Para a produção de vapor de água utilizar-se-ão valores compreendidos entre 150 e 900 g/h, intervalados a cada 150 g/h.

Por fim, a ventilação é outro fator necessário e, tal como usado anteriormente, nos próximos casos serão utilizados os mesmos valores de 0.6, 0.8, 1 e 1.2 rph, de modo a respeitar valores superiores ao mínimo regulamentado.

3.3.1. BRAGANÇA

Para o caso de estudo em Bragança, foram considerados os dados médios de temperatura exterior e humidade relativa exterior média mensal, representados nas figuras 16 e 17.

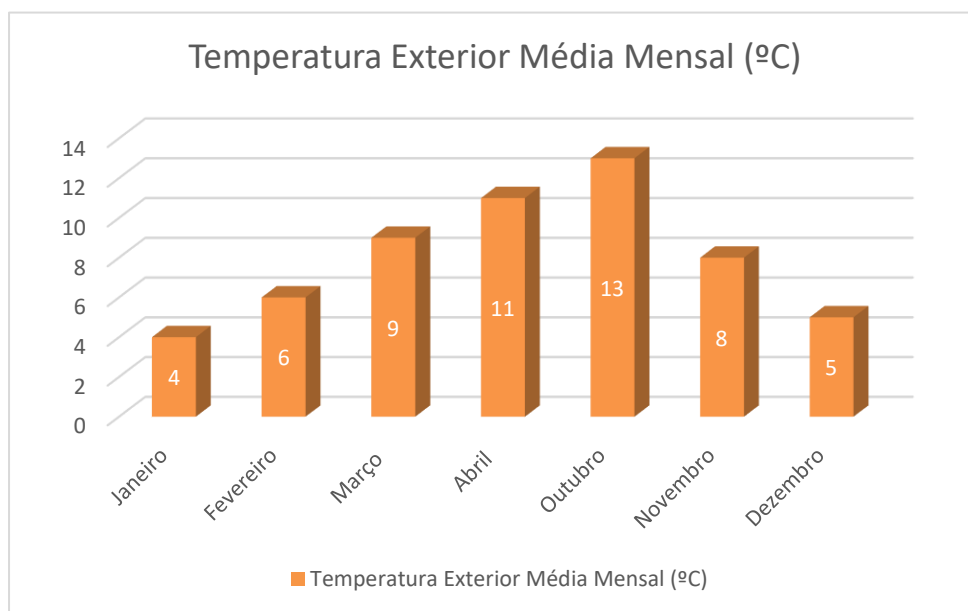


Figura 16 - Temperatura Média Mensal em Bragança (adaptado de [24])

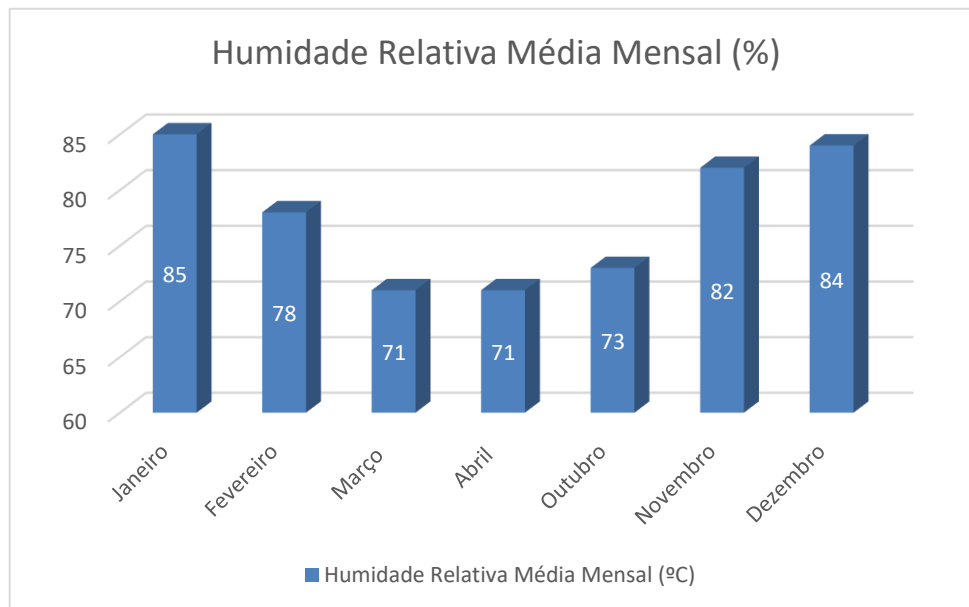


Figura 17 - Humidade Relativa Média Mensal em Bragança (adaptado de [24])

Com os dados dos gráficos anteriormente apresentados, foram calculados os valores de pressão de vapor exterior para cada mês.

Mês	Te (°C)	HR exterior (%)	Pe (Pa)
Janeiro	4	85	691,89
Fevereiro	6	78	730,20
Março	9	71	816,26
Abril	11	71	933,46
Outubro	13	73	1095,19
Novembro	8	82	880,82
Dezembro	5	84	733,48

Tabela 26 - Valores P_e para caso de estudo em Bragança

Obtidos os valores de P_e , procedeu-se ao cálculo de U_e , U_i e respetiva P_i (Pressão de vapor interior). Neste ponto do estudo, é necessário apenas retirar os valores de P_s (Pressão de vapor de saturação superficial) para ser possível concluir o risco de ocorrência do fenómeno de condensações.

Te (°C)	Ti (°C)	U(W/m²°C)	li (W/m²°C)	Tsi (°C)	Ps (Pa)
4	14	0,65	8	13,2	1518,8
	16			15,0	1711,1
	18			16,9	1924,4
6	14	0,65	8	13,4	1535,0
	16			15,2	1729,1
	18			17,0	1944,3
9	14	0,65	8	13,6	1559,6
	16			15,4	1756,4
	18			17,3	1974,6
11	14	0,65	8	13,8	1576,2
	16			15,6	1774,8
	18			17,4	1994,9
13	14	0,65	8	13,9	1592,9
	16			15,8	1793,3
	18			17,6	2015,5
8	14	0,65	8	13,5	1551,3
	16			15,4	1747,2
	18			17,2	1964,4
5	14	0,65	8	13,3	1526,9
	16			15,1	1720,1
	18			16,9	1934,3

Tabela 27 - Valores *Tsi* e *Ps* para $U = 0,65$, caso de estudo em Bragança

Por último, cruzando os resultados obtidos, elabora-se a Tabela 28 em que as células a vermelho representam condições em há risco de ocorrência de condensações. Já as células a amarelo representam as condições em que há um risco potencial de ocorrência.

U(W/m²K) = 0,65		wi (g/h)	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900	150	300	450	600	750	900
		n (Rp/h)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1	1	1	1	1,2
		Vi (m³)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
		Q (m³/h)	120	120	120	120	120	120	160	160	160	160	160	160	200	200	200	200	200	240
Te (°C)	Ti (°C)	Pr (Pa)	Risco de condensações - (Pi-Pr)																	
			Risco de condensações - (Pi-Pr)																	
4	14	102000	-660,3	-494,3	-328,9	-163,9	0,4	164,3	-701,9	-577,3	-452,9	-328,9	-205,1	-81,7	-726,9	-627,1	-527,5	-428,1	-328,9	-229,9
	16		-852,6	-686,6	-521,2	-356,3	-191,9	-28,0	-894,2	-769,6	-645,2	-521,2	-397,4	-274,0	-919,2	-819,4	-719,8	-620,4	-521,2	-422,2
	18		-1065,9	-899,9	-734,5	-569,6	-405,2	-241,3	-1107,5	-982,9	-858,5	-734,5	-610,7	-487,3	-1132,5	-1032,7	-933,1	-833,7	-734,5	-635,5
6	14	102000	-638,4	-472,5	-307,1	-142,3	21,9	185,6	-679,9	-555,3	-431,1	-307,1	-183,5	-60,1	-704,9	-605,1	-505,6	-406,3	-307,1	-208,2
	16		-832,4	-666,6	-501,2	-336,4	-172,2	-8,5	-874,0	-749,4	-625,2	-501,2	-377,6	-254,2	-899,0	-799,2	-699,7	-600,4	-501,2	-402,3
	18		-1047,7	-881,8	-716,5	-551,7	-387,4	-223,7	-1089,2	-964,7	-840,4	-716,5	-592,8	-469,5	-1114,2	-1014,5	-914,9	-815,6	-716,5	-617,5
9	14	102000	-577,2	-411,6	-246,5	-82,0	82,0	245,4	-618,7	-494,3	-370,3	-246,5	-123,1	0,1	-643,6	-544,0	-444,6	-345,5	-246,5	-147,7
	16		-774,0	-608,4	-443,3	-278,8	-114,8	48,6	-815,4	-691,1	-567,1	-443,3	-319,9	-196,7	-840,4	-740,8	-641,4	-542,3	-443,3	-344,5
	18		-992,2	-826,6	-661,5	-497,0	-333,0	-169,6	-1033,6	-909,3	-785,2	-661,5	-538,1	-414,9	-1058,5	-959,0	-859,6	-760,5	-661,5	-562,7
11	14	102000	-476,9	-311,7	-147,0	17,1	180,7	343,8	-518,3	-394,3	-270,5	-147,0	-23,9	99,0	-543,2	-443,9	-344,7	-245,8	-147,0	-48,5
	16		-675,6	-510,3	-345,7	-181,5	-17,9	145,2	-716,9	-592,9	-469,1	-345,7	-222,5	-99,7	-741,8	-642,5	-543,3	-444,4	-345,7	-247,1
	18		-895,7	-730,5	-565,8	-401,7	-238,1	-75,0	-937,1	-813,1	-689,3	-565,8	-442,7	-319,8	-962,0	-862,6	-763,5	-664,6	-565,8	-467,3
13	14	102000	-332,5	-167,8	-3,6	160,0	323,1	485,6	-373,7	-250,1	-126,7	-3,6	119,1	241,6	-398,5	-299,5	-200,7	-102,1	-3,6	94,6
	16		-532,9	-368,2	-204,1	-40,5	122,6	285,2	-574,2	-450,5	-327,2	-204,1	-81,3	41,1	-599,0	-500,0	-401,1	-302,5	-204,1	-105,9
	18		-755,1	-590,4	-426,3	-262,7	-99,6	63,0	-796,4	-672,7	-549,3	-426,3	-303,5	-181,0	-821,1	-722,1	-623,3	-524,7	-426,3	-328,0
8	14	102000	-504,6	-339,2	-174,3	-10,0	153,7	317,0	-546,0	-421,8	-297,9	-174,3	-51,1	71,9	-570,9	-471,5	-372,2	-273,2	-174,3	-75,7
	16		-700,5	-535,1	-370,2	-205,9	-42,2	121,1	-741,9	-617,7	-493,8	-370,2	-247,0	-124,0	-964,0	-864,6	-765,1	-666,3	-567,8	-468,8
	18		-917,7	-752,3	-587,4	-423,1	-259,4	-96,1	-959,1	-834,9	-711,0	-587,4	-462,2	-341,2	-984,0	-884,6	-785,3	-686,3	-587,4	-488,8
5	14	102000	-627,0	-461,1	-295,8	-131,0	33,3	197,0	-668,5	-544,0	-419,7	-295,8	-172,1	-48,8	-693,5	-593,7	-494,2	-394,9	-295,8	-196,8
	16		-820,2	-654,3	-489,0	-324,2	-159,9	3,8	-861,7	-737,2	-612,9	-489,0	-365,3	-242,0	-886,7	-786,9	-687,4	-588,1	-489,0	-390,0
	18		-1034,4	-868,6	-703,2	-538,5	-374,2	-210,5	-1076,0	-951,4	-827,2	-703,2	-579,6	-456,3	-1100,9	-1001,2	-901,7	-802,4	-703,2	-604,3

Tabela 28 - Análise do risco de condensações em Bragança

3.3.2. PORTO

Com os dados relativos à cidade do Porto, realizou-se o mesmo raciocínio que no estudo da cidade de Bragança, de forma a poder-se obter conclusões relativas ao risco de condensações.

Nos gráficos seguintes podemos então observar os valores médios mensais para o Porto.

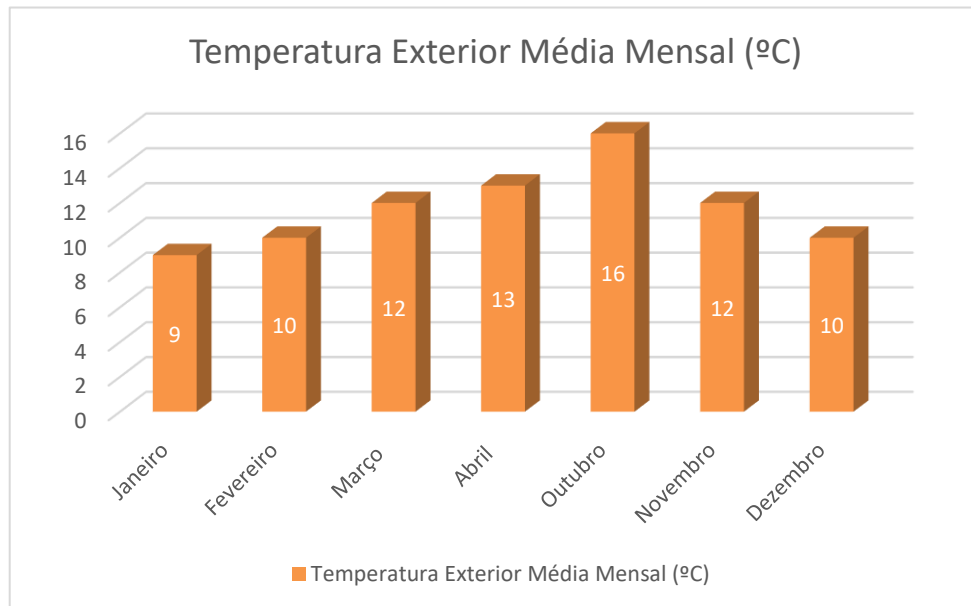


Figura 18 - Temperatura Média Mensal no Porto (adaptado de [24])

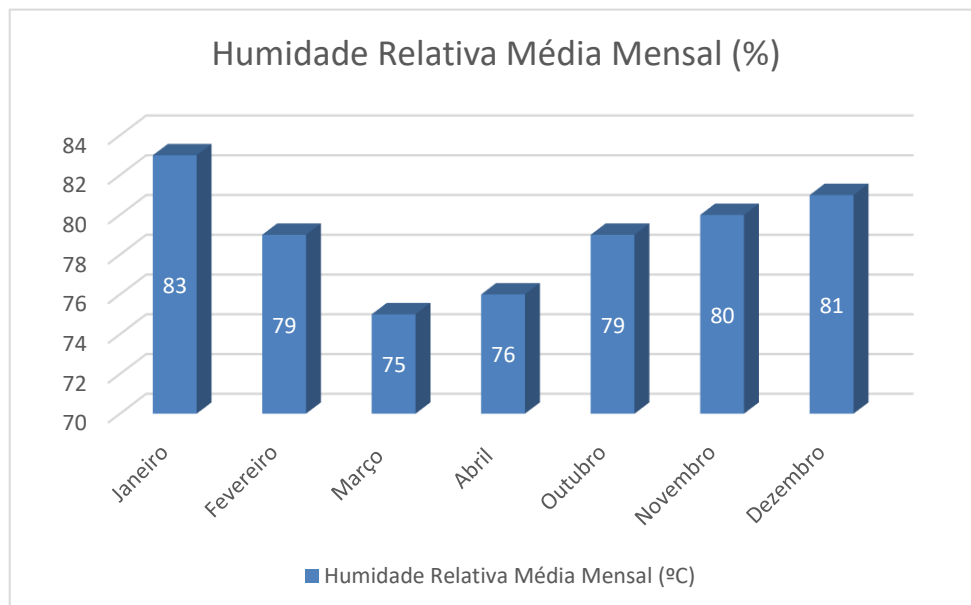


Figura 19 - Humidade Relativa Média Mensal no Porto (adaptado de [24])

Assim, podemos observar nas seguintes tabelas os valores calculados da pressão de vapor exterior para as condições de temperatura exterior e humidade relativa exterior, e de pressão de vapor superficial.

Mês	Te (°C)	HR exterior (%)	Pe (Pa)
Janeiro	9	83	954,22
Fevereiro	10	79	971,52
Março	12	75	1053,61
Abril	13	76	1140,19
Outubro	16	79	1439,01
Novembro	12	80	1123,85
Dezembro	10	81	996,11

Tabela 29 - Valores P_e para caso de estudo no Porto

Te (°C)	Ti (°C)	U(W/m²°C)	hi (W/m²°C)	Tsi (°C)	Ps (Pa)
9	14	0,65	8	13,6	1559,6
	16			15,4	1756,4
	18			17,3	1974,6
10	14	0,65	8	13,7	1567,8
	16			15,5	1765,5
	18			17,4	1984,7
12	14	0,65	8	13,8	1584,5
	16			15,7	1784,0
	18			17,5	2005,2
13	14	0,65	8	13,9	1592,9
	16			15,8	1793,3
	18			17,6	2015,5
16	14	0,65	8	14,2	1618,3
	16			16,0	1821,5
	18			17,8	2046,7
12	14	0,65	8	13,8	1584,5
	16			15,7	1784,0
	18			17,5	2005,2
10	14	0,65	8	13,7	1567,8
	16			15,5	1765,5
	18			17,4	1984,7

Tabela 30 -Valores Tsi e Ps para U = 0,65, caso de estudo no Porto

U[W/m²°C] = 0,65																									
			wl [g/h]	n [Rp/h]	Vi [m³]																				
			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
			120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações - (Pi-Ps)																						
14	14	101000	-441,32	-277,82	-114,86	47,58	209,48	370,85	-482,28	-359,50	-237,03	-114,86	7,02	128,59	-506,87	-408,58	-310,48	-212,57	-114,86	-17,33	-523,27	-441,32	-359,50	-277,82	-196,27
9	16	101000	-638,11	-474,61	-311,65	-149,22	12,68	174,06	-679,07	-556,30	-433,82	-311,65	-189,78	-68,20	-703,66	-605,37	-507,27	-409,36	-311,65	-214,13	-720,06	-638,11	-556,30	-474,61	-393,07
	18		-856,31	-692,81	-529,84	-367,41	-205,51	-44,13	-897,26	-774,49	-652,02	-529,84	-407,97	-286,39	-921,86	-823,56	-725,46	-627,56	-529,84	-432,32	-938,26	-856,31	-774,49	-692,81	-611,26
	14		-432,35	-268,91	-106,00	56,37	218,22	379,54	-473,30	-350,56	-228,13	-106,00	15,83	137,36	-497,88	-399,62	-301,56	-203,68	-106,00	-8,51	-514,27	-432,35	-350,56	-268,91	-187,39
10	16	101000	-630,05	-466,61	-303,70	-141,33	20,52	181,84	-671,00	-548,26	-425,83	-303,70	-181,87	-60,34	-695,58	-597,32	-499,26	-401,38	-303,70	-206,21	-711,97	-630,05	-548,26	-466,61	-385,09
	18		-849,24	-685,79	-522,89	-360,51	-198,66	-37,34	-890,18	-767,45	-645,02	-522,89	-401,05	-279,52	-914,76	-816,50	-718,44	-620,57	-522,89	-425,40	-931,16	-849,24	-767,45	-685,79	-604,27
	14		-367,19	-204,02	-41,38	120,73	282,32	443,38	-408,07	-285,54	-163,31	-41,38	80,26	201,59	-432,61	-334,52	-236,61	-138,90	-41,38	55,95	-448,98	-367,19	-285,54	-204,02	-122,63
12	16	101000	-566,72	-403,54	-240,90	-78,79	82,79	243,85	-607,60	-485,07	-362,83	-240,90	-119,27	2,07	-632,14	-534,04	-436,14	-338,42	-240,90	-143,57	-648,51	-566,72	-485,07	-403,54	-322,16
	18		-787,89	-624,72	-462,08	-299,97	-138,38	22,68	-828,77	-706,24	-584,01	-462,08	-340,45	-219,11	-853,31	-755,22	-657,31	-559,60	-462,08	-364,75	-869,68	-787,89	-706,24	-624,72	-543,33
	14		-289,28	-126,39	35,97	197,80	359,11	519,89	-330,09	-207,77	-85,75	35,97	157,39	278,52	-354,59	-256,66	-158,93	-61,38	35,97	133,13	-370,93	-289,28	-207,77	-126,39	-45,14
13	16	101000	-489,73	-326,83	-164,47	-2,64	158,66	319,45	-530,53	-408,21	-286,19	-164,47	-43,05	78,08	-555,03	-457,11	-359,37	-261,83	-164,47	-67,31	-571,37	-489,73	-408,21	-326,83	-245,59
	18		-711,90	-549,01	-386,65	-224,82	-63,51	97,27	-752,71	-630,39	-508,37	-386,65	-265,23	-144,10	-777,21	-679,28	-581,55	-484,00	-386,65	-289,49	-793,55	-711,90	-630,39	-549,01	-467,76
	14		-16,85	145,07	306,46	467,34	627,68	787,51	-57,41	64,18	185,47	306,46	427,17	547,57	-81,77	15,57	112,73	209,69	306,46	403,05	-98,01	-16,85	64,18	145,07	225,83
16	16	101000	-220,07	-58,15	103,25	264,12	424,47	584,30	-260,63	-139,04	-17,75	103,25	223,95	344,36	-284,99	-187,64	-90,49	6,47	103,25	199,83	-301,23	-220,07	-139,04	-58,15	-22,61
	18		-445,27	-283,35	-121,96	38,91	199,26	359,09	-485,84	-364,25	-242,95	-121,96	-1,26	119,15	-510,19	-412,85	-315,69	-218,73	-121,96	-25,37	-526,43	-445,27	-364,25	-283,35	-202,59
	14		-297,18	-134,24	28,18	190,06	351,42	512,25	-338,00	-215,64	-93,58	28,18	149,64	270,81	-362,51	-264,55	-166,78	-69,21	28,18	125,37	-378,86	-297,18	-215,64	-134,24	-52,96
12	16	101000	-496,71	-333,76	-171,35	-9,46	151,89	312,73	-537,53	-415,17	-293,11	-171,35	-49,89	71,28	-562,04	-464,08	-366,31	-268,73	-171,35	-74,15	-578,38	-496,71	-415,17	-333,76	-252,49
	18		-717,88	-554,94	-392,52	-230,64	-69,28	91,55	-758,70	-636,34	-514,28	-392,52	-271,06	-149,89	-783,21	-685,25	-587,48	-489,91	-392,52	-295,33	-799,56	-717,88	-636,34	-554,94	-473,66
	14		-407,84	-244,47	-81,65	80,65	242,42	403,66	-448,76	-326,09	-203,72	-81,65	40,13	161,60	-473,33	-375,12	-277,10	-179,28	-81,65	15,79	-489,72	-407,84	-326,09	-244,47	-162,99
10	16	101000	-605,54	-442,18	-279,35	-117,05	44,72	205,96	-646,46	-523,79	-401,42	-279,35	-157,58	-36,10	-671,03	-572,82	-474,81	-376,98	-279,35	-181,91	-687,42	-605,54	-523,79	-442,18	-360,70
	18		-824,72	-661,36	-498,53	-336,23	-174,47	-13,22	-865,65	-742,97	-620,60	-498,53	-376,76	-255,28	-890,22	-792,01	-693,99	-596,16	-498,53	-401,09	-906,60	-824,72	-742,97	-661,36	-579,88

Tabela 31 - Análise do risco de condensações no Porto

3.3.3. LISBOA

Concluindo o terceiro caso de estudo, tal como nos anteriores, estão apresentados os valores médios mensais de temperatura exterior e humidade relativa exterior.

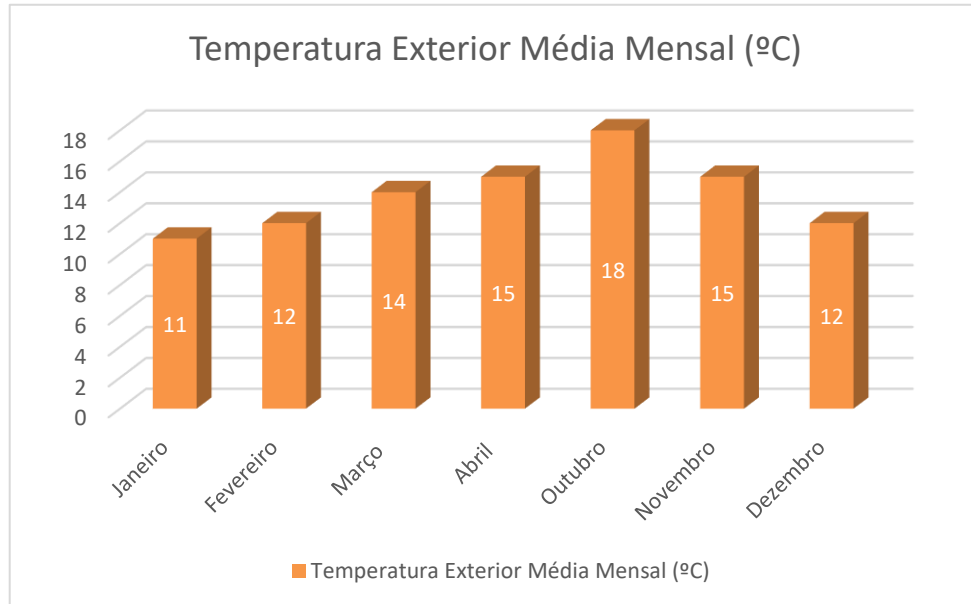


Figura 20 - Temperatura Média Mensal em Lisboa (adaptado de [24])

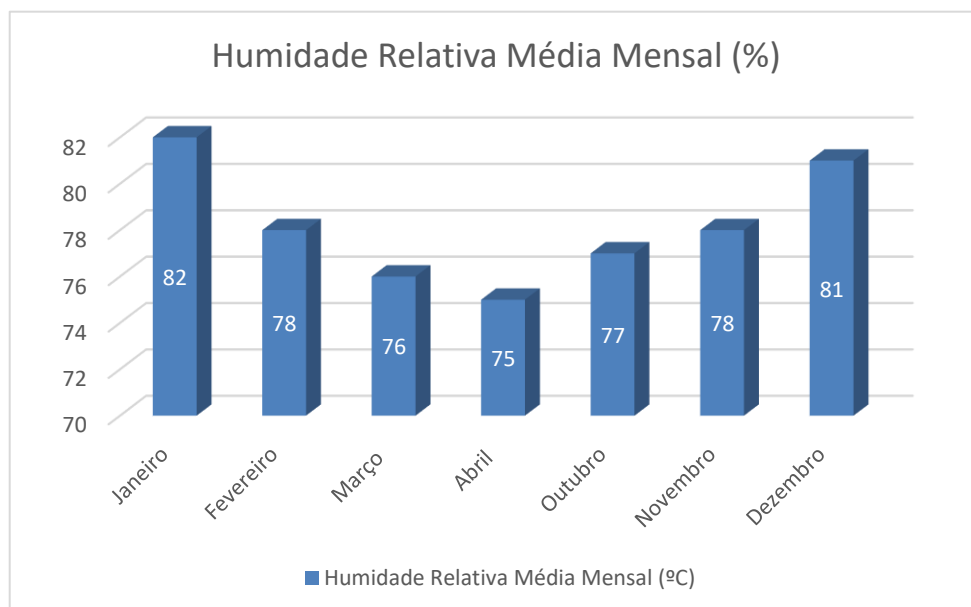


Figura 21 - Humidade Relativa Média Mensal em Lisboa (adaptado de [24])

Mês	Te (°C)	HR exterior (%)	Pe (Pa)
Janeiro	11	82	1078,08
Fevereiro	12	78	1095,75
Março	14	76	1217,01
Abril	15	75	1281,24
Outubro	18	77	1592,18
Novembro	15	78	1332,49
Dezembro	12	81	1137,90

Tabela 32 - Valores P_e para caso de estudo em Lisboa

Te (°C)	Ti (°C)	U(W/m ² °C)	hi (W/m ² °C)	Tsi (°C)	Ps (Pa)
11	14	0,65	8	13,8	1576,2
	16			15,6	1774,8
	18			17,4	1994,9
12	14	0,65	8	13,8	1584,5
	16			15,7	1784,0
	18			17,5	2005,2
14	14	0,65	8	14,0	1601,3
	16			15,8	1802,7
	18			17,7	2025,9
15	14	0,65	8	14,1	1609,8
	16			15,9	1812,1
	18			17,8	2036,3
18	14	0,65	8	14,3	1635,4
	16			16,2	1840,5
	18			18,0	2067,8
15	14	0,65	8	14,1	1609,8
	16			15,9	1812,1
	18			17,8	2036,3
12	14	0,65	8	13,8	1584,5
	16			15,7	1784,0
	18			17,5	2005,2

Tabela 33 - Valores T_{si} e P_s para $U = 0,65$, caso de estudo em Lisboa

Com todos os valores necessários calculados, podemos então prosseguir para a comparação dos valores de P_i e P_s e analisar, através das células pintadas a vermelho e amarelo, para que condições há ocorrência de condensações e risco potencial de ocorrência deste fenómeno, respetivamente.

			U(W/m²°C) = 0,65																											
			wt(g/h)15030045060075090015030																											

Tabela 34 - Análise do risco de condensações em Lisboa

3.3.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Fazendo uma análise crítica aos diferentes resultados obtidos para cada cidade em causa, podemos concluir que em Bragança, para as mesmas temperaturas interiores, há um menor risco de ocorrência de condensações que no Porto e Lisboa. Por outro lado, o Porto, ainda nas mesmas condições de temperatura interior, tem um risco inferior a Lisboa, o que não traduz a realidade da maioria das situações, dado que se o clima exterior é mais severo, a temperatura interior será naturalmente mais baixa.

Assim, através da análise dos vários resultados, podemos afirmar que uma menor temperatura exterior traduz um menor risco potencial desta patologia.

Outro facto que deve ser mencionado e que explica a razão do Porto e Lisboa, para uma gama de valores de humidades relativas idênticas às de Bragança, apresentam um risco consideravelmente maior, é o facto de que o ar nestas duas cidades ser mais húmido do que em Bragança, onde apesar das temperaturas médias exteriores serem menores, o ar é mais seco.

Por último, observando a folha de cálculo Excel, é possível também ter uma perceção da influência do elemento construtivo neste tipo de fenómeno, ou seja, para cada caso de estudo foi feita uma análise para os mesmo valores exteriores e interiores, modificando apenas o U do elemento construtivo, o que nos permitiu concluir que uma habitação com um coeficiente de transmissão térmica superior, correspondente a uma parede sem isolamento térmico, estará mais vulnerável e sensível à ocorrência de condensações que uma habitação com um U menor (parede com isolamento térmico).

Nos meses onde não há uma diferença de temperatura de pelo menos 3°C do interior para o exterior, ou quando a temperatura exterior é superior à interior, os resultados de condensações aparecem como “positivos”, isto é, a tabela Excel apresentará resultados de condensações que não devem ser considerados. Exemplificando com o caso do mês de outubro em Lisboa, em que a temperatura média exterior é de 18°C e uma temperatura interior de 14°C. Para este caso, independentemente do caudal de ventilação e da produção de vapor, este modelo assinalará risco de condensações visto que a temperatura exterior é superior à temperatura interior.

3.4. SÍNTESE CRÍTICA DO CAPÍTULO

Deste capítulo é possível retirar as seguintes conclusões:

- Com recurso ao diagrama psicométrico é possível saber se ocorrem condensações comparando os valores da pressão interior com a pressão de saturação à superfície;
- Através de um modelo de cálculo em folha Excel, é possível a obtenção de resultados em relação ao risco de ocorrência do fenómeno de condensações, através da comparação da pressão de vapor interior (P_i) e a pressão de vapor superficial (P_s), considerando T_e , HRe , ω_i , rph , U e volume;
- Um coeficiente de transmissão térmica elevado, no caso de uma parede sem isolamento térmico, traduz uma maior vulnerabilidade no que se refere ao risco de condensações;
- Uma menor temperatura exterior e, conseqüente, menor humidade absoluta revela um menor risco potencial desta patologia, para as mesmas condições interiores;
- O estudo de diferentes cidades do país, evidencia que climas com menor humidade absoluta no inverno não tem mais risco de condensação de que climas mais amenos, se o clima interior for igual.

4

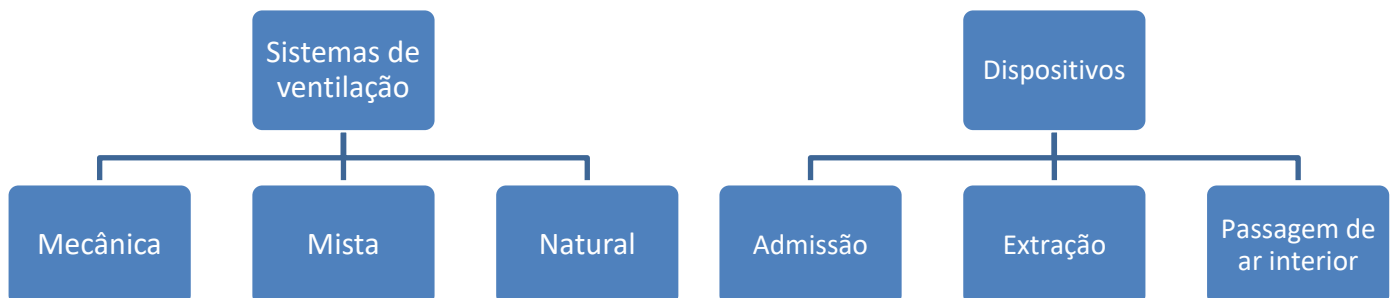
DISPOSITIVOS DE ADMISSÃO E EXTRAÇÃO DE AR

4.1. INTRODUÇÃO

Após a exposição de um modelo de cálculo do risco de condensações, patologia recorrente em diversos edifícios, é relevante estudar dispositivos de admissão e extração de ar uma vez que o caudal de ventilação é um parâmetro importante na minimização deste tipo de patologia.

Nos períodos de inverno é imprescindível garantir uma ventilação geral e permanente dos edifícios, qualquer que seja a zona climática em que o edifício se localiza. A ventilação deve ser geral e permanente, isto é, a entrada de ar deve fazer-se pelos compartimentos principais (quartos e sala) e a saída do ar deve ser feita pelos compartimentos de serviço (instalações sanitárias, cozinha e despensas).

Neste capítulo será abordado o dimensionamento de sistemas de ventilação e respetivos dispositivos de admissão e extração de ar. O dimensionamento destes dispositivos, será efetuado consoante o tipo de sistema de ventilação adotado para cada caso, podendo estes ser sistemas de ventilação natural, mecânica ou mista. Quanto aos dispositivos, vão ser abordados dispositivos de admissão, extração e passagem de ar interior.



4.2. CONCEITO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NATURAL, MECÂNICA E MISTA

É sabido que os sistemas de ventilação destinam-se a assegurar a qualidade de ar no interior de uma habitação, fornecendo ar novo (admissão) e extraíndo o ar “contaminado” (exaustão).

Assim, para que seja possível a ocorrência desse tipo de fenómeno, existem sistemas de ventilação que o permitem, como: [25]

Ventilação natural: Este sistema de ventilação, dentro dos 3 apresentados, é o mais simples pois não requer instalação de equipamentos caros e sofisticados que consomem bastante energia. Isto é, no sistema de ventilação natural, a renovação do ar é promovida por ações naturais, como a influência do vento e convecção natural (denominado por efeito chaminé) - diferença de temperatura e densidade entre o ar exterior e interior do edifício - que asseguram de uma forma controlada o fluxo de ar através das aberturas de admissão de ar (janelas e grelhas) e das aberturas de extração de ar (chaminés).

Ventilação Mecânica: No caso do sistema de ventilação mecânica, a renovação do ar é feita através de ventiladores mecânicos que asseguram, de uma forma controlada e ininterrupta, o fluxo de ar por aberturas de admissão de ar e aberturas de extração de ar ligadas a condutas.

Ventilação mista: Este tipo de sistema é a conjugação dos dois tipos de ventilação abordados anteriormente, natural e mecânica, sendo caracterizado pela existência de extratores individuais ligados a condutas individuais.

4.3. DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NATURAL/MISTA

Tal como foi referido anteriormente, a ventilação deve ser geral e permanente, sendo que a admissão de ar deve ser feita pelos compartimentos principais (quartos e sala) e a sua extração por compartimentos de serviço (instalações sanitárias, cozinha e despensas).

Assim, neste subcapítulo serão abordadas as condições necessárias de segurança, qualidade de ar, fluxo de ar e isolamento sonoro para o dimensionamento dos dispositivos de admissão e passagem de ar e dispositivos de extração de ar.

4.3.1. ADMISSÃO DE AR

4.3.1.1. DISPOSITIVOS DE ADMISSÃO DE AR EM PAREDE DE FACHADA

A ventilação através de dispositivos de admissão de ar em parede de fachada (que compreendem também as aberturas posicionadas nas caixas de estore e outros elementos da fachada [19]) tem como princípio a utilização de grelhas, meticolosamente, distribuídas na envolvente. As grelhas consistem em dispositivos que permitem a troca direta de ar exterior com o ar do interior da habitação, podendo estas ser classificadas em função do seu funcionamento.

Nas aberturas de admissão de ar é recomendável que estas sejam providas de dispositivos anti-retorno, de modo que não permitam, por ação do vento, a inversão do sentido do fluxo de ar, isto é, admitindo ar para o exterior ao invés de admitir ar exterior.[19] Outro fator de elevada importância é o posicionamento das admissões de ar, devendo ser posicionadas a um nível elevado de forma a minimizar o risco de desconforto nos quartos ou em salas sem aquecimento contínuo.

Na figura 22, são ilustrados possíveis locais para a instalação dessas aberturas (caixa de estore, caixilharia, parede, etc.).

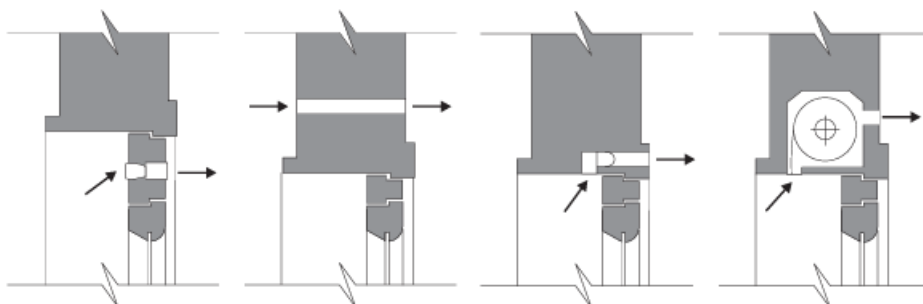


Figura 22 - Posicionamento das aberturas de admissão de ar [19]

As aberturas de admissão de ar podem ser fixas (não recomendável em edifícios de habitação), reguláveis, autorreguláveis e higrorreguláveis.

Nas grelhas reguláveis, uma vez que o ajuste da alteração da área útil de passagem do ar é manual, não existe na realidade um controlo total sobre o caudal de ventilação, uma vez que não é executável um ajuste manual da área útil em simultâneo com as oscilações dos mecanismos de ventilação (vento e temperatura).

As grelhas autorreguláveis são as mais recomendadas uma vez que, não só permitem uma maior redução do ruído, como também permitem um maior controlo sobre as taxas de ventilação. São compostas por um mecanismo de regulação interior que permitem a variação da sua secção em função das variações de pressões causadas pelo vento, de modo a evitar variações bruscas do caudal admitido. (Figura 25)

As grelhas higrorreguláveis estabelecem a sua regulação em função da humidade relativa interior, isto é, quando a humidade relativa interior é elevada, um obturador no seu interior abre, permitindo a admissão do caudal máximo. Em compensação, quando a humidade relativa interior é baixa, o obturador fecha permitindo apenas a passagem do caudal mínimo. Tanto as grelhas autorreguláveis como as higrorreguláveis são independentes ao utilizador.

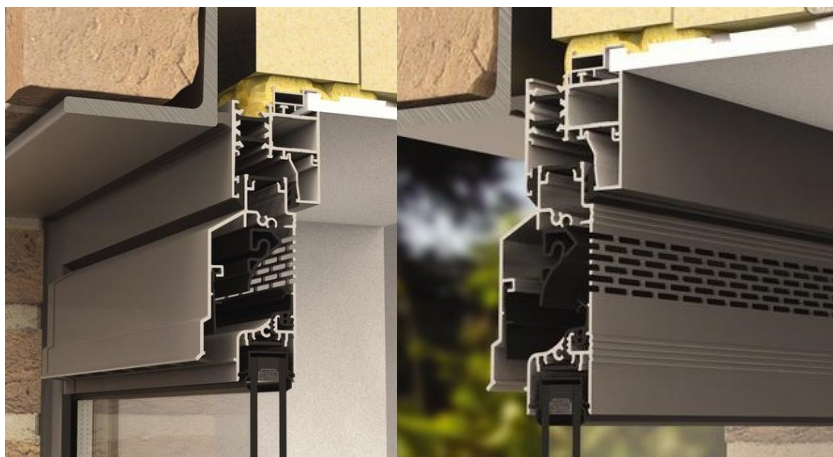
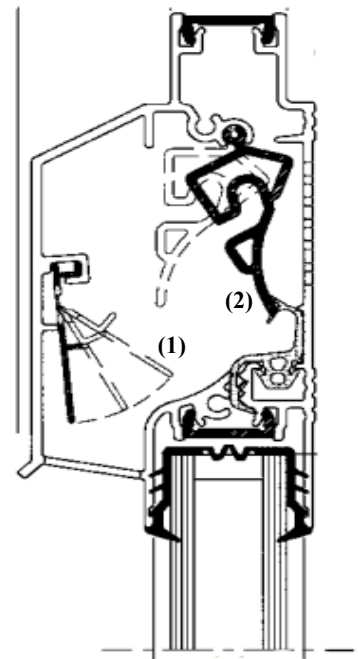


Figura 23 - Exemplo de uma grelha autorregulável (adaptado de [26])

(1) – Aba autorregulável; (2) – Aba regulável



De acordo com a NP 1037-1, a escolha das aberturas de admissão de ar, é feita consoante a classe de exposição ao vento da fachada, tendo de obedecer às características de dimensionamento definidas na Tabela 35, conforme o tipo de abertura e os intervalos de diferença de pressão. Devem também respeitar as áreas úteis conforme o caudal-tipo do compartimento em relação ao volume (Tabela 5, em 2.2.3.4).[19]

Classe de exposição ao vento	Tipo de abertura	Caudal-tipo a considerar
Exp 1	Seção constante (Aberturas não reguláveis) ⁽¹⁾	Caudais não inferiores aos previstos para os compartimentos principais ($\Delta P=10$ Pa), sem ser excedido o quádruplo do caudal para $\Delta P \geq 60$ Pa.
Exp 2	Seção variável por ação do vento (Aberturas autorreguláveis)	Caudais não inferiores aos previstos para os compartimentos principais ($\Delta P=10$ Pa), sem ser excedido o quádruplo do caudal para $\Delta P \geq 160$ Pa.
Exp 3	Seção variável por ação do vento (Aberturas autorreguláveis)	Caudais não inferiores aos previstos para os compartimentos principais ($\Delta P=10$ Pa), sem ser excedido o quádruplo do caudal para $\Delta P \geq 240$ Pa.
Exp 4	Seção variável por ação do vento (Aberturas autorreguláveis)	Caudais não inferiores aos previstos para os compartimentos principais ($\Delta P=10$ Pa), sem ser excedido o quádruplo do caudal para $\Delta P \geq 380$ Pa. O dimensionamento das aberturas pode ter que ser justificado por cálculo, que tenha em conta a velocidade do vento.

⁽¹⁾ Preconiza-se a utilização de grelhas autorreguláveis

Tabela 35 - Características de dimensionamento das aberturas [19]

4.3.1.2. PERMEABILIDADE AO AR DE JANELAS E PORTAS DA ENVOLVENTE

A permeabilidade ao ar é condicionante para a ventilação das habitações, pois permitem a entrada de caudais de ar indesejáveis que podem causar perturbações no correto funcionamento dos esquemas de ventilação natural. Caixilharias exteriores, portas exteriores, coberturas e fachadas requerem especial atenção uma vez que são considerados como elementos que têm uma permeabilidade ao ar considerável.

Em função da sua exposição, é necessário limitar a permeabilidade ao ar destes elementos.

Na Tabela 36 são estipuladas as classes de exposição ao vento em função da região do território, da rugosidade aerodinâmica e da altura acima do solo. Estas classes são fundamentais para a definição de perda de carga das aberturas para o exterior que integram o sistema de ventilação. [19]

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
≤ 10 m	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 1	Exp 2	Exp 3
>10 m e ≤ 18 m	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 2	Exp 3	Exp 4
>18 m e ≤ 28 m	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 2	Exp 3	Exp 4
>28 m e ≤ 60 m	Exp 3	Exp 3	Exp 4	Exp 3	Exp 3	Exp 4

Tabela 36 - Classes de exposição ao vento [19]

Relativamente à região do território considerado, temos [19]:

- Região A – Inclui a generalidade do território, exceto os locais pertencentes à região B;
- Região B – Inclui os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou altitudes superiores a 600m.

Para a rugosidade aerodinâmica do terreno, uma vez que esta condiciona o perfil de velocidade do vento, temos [19]:

- Rugosidade do tipo I – Atribuída aos locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem edifícios de médio e grande porte;
- Rugosidade do tipo II – Atribuída à generalidade dos restantes locais, nomeadamente às zonas rurais com algum relevo e periferia de zonas urbanas;
- Rugosidade do tipo III – Atribuída aos locais situados em zonas planas sem vegetação de grande porte ou nas proximidades de extensos planos de água nas zonas rurais.

A permeabilidade ao ar das janelas e das portas das habitações que contactam com o exterior, não deve ser superior à indicada na Tabela 37. Estas classes são definidas para a homologação das janelas.

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
≤ 10 m	A1	A2	A2	A1	A2	A2
>10 m e ≤ 18 m	A1	A2	A2	A1	A2	A2
>18 m e ≤ 28 m	A1	A2	A2	A2	A2	A2
>28 m e ≤ 60 m	A2	A2	A2	A2	A2	A2
>60 m e ≤ 80 m	A2	A2	A2	A2	A2	A3

Tabela 37 - Classes de permeabilidade ao ar de janelas e portas exteriores em função da sua exposição. [19]

4.3.2. DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE AR INTERIOR

As aberturas de passagem de ar interior devem permitir uma constante circulação do ar no interior das habitações, sendo que esta circulação pode ser possibilitada através de folgas na porta, grelhas posicionadas na porta ou na parede. Porém, estes tipos de abertura de passagem podem provocar determinados inconvenientes ao nível de privacidade do local e de acústica, como também podem ser facilmente obstruídos com carpetes ou mobiliário, no caso das grelhas na parede.

As aberturas de passagem do ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço devem ter área útil da ordem de grandeza apresentada na Tabela 7, no ponto 2.2.3.5. As perdas de carga nestas aberturas, para os caudais-tipo em correspondência, devem ser da ordem de 1 Pa para caudais até 60 m³/h. Para caudais superiores não deve ser excedida a perda de carga de 3 Pa. [23]

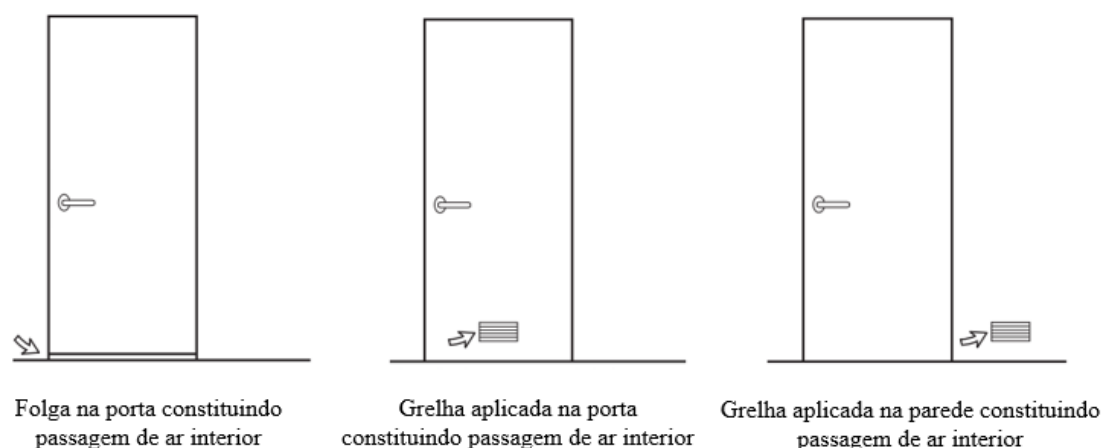


Figura 24 - Dispositivos de passagem de ar interior [19]

A permeabilidade das portas interiores não deve ser superior a $12 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ para uma diferença de pressão de 100 Pa, sempre que limitem sectores separados de ventilação. Por outro lado, no caso de portas interiores que constituem a única ligação entre compartimentos do mesmo sector de ventilação devem possuir aberturas permanentes de forma que, mesmo quando fechadas, minimizem a restrição à circulação do ar. As perdas de carga nessas aberturas não devem exceder 3 Pa. [19]



Figura 25 - Exemplos de dispositivos de passagem de ar em portas interiores (adaptado de [26])

4.3.3. EXTRAÇÃO DE AR POR VENTILAÇÃO NATURAL

4.3.3.1. ABERTURAS DE EXTRAÇÃO DE AR

Em instalações sanitárias, devido à produção de vapores e poluentes, é necessária a existência de aberturas de extração de ar, sendo que estas devem estar situadas em cima das banheiras/chuveiros ou, no caso de ausência destes equipamentos, devem situar-se por cima das bacias de retrete, e o mais afastado possível da porta de comunicação com esse compartimento.

O dimensionamento destas aberturas de extração deve cumprir os requisitos enunciados no capítulo 2.2.3.6 nas tabelas 8 e 9.

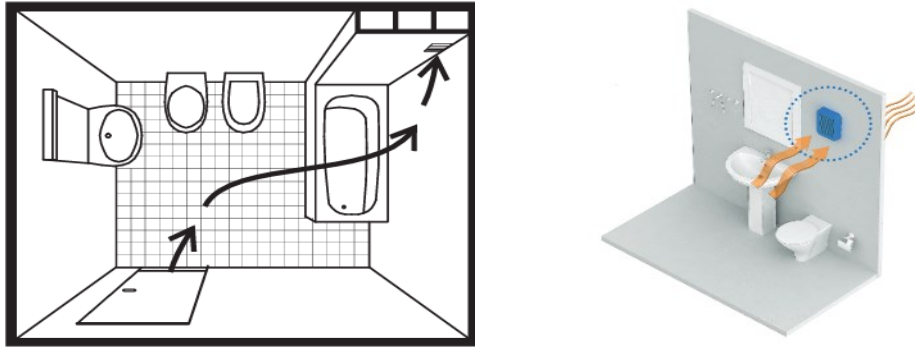


Figura 26 - Exemplo de abertura de extração de ar em cozinhas e instalações sanitárias (adaptado de [19] e [27])

4.3.3.2. CONDUTAS DE EXTRAÇÃO DE AR

As condutas de extração de ar, destinadas à extração de ar, extração de produtos da combustão do gás e extração dos produtos da combustão de outros combustíveis, devem ser executadas de modo a satisfizer as exigências de estanquidade, de resistência à temperatura e à corrosão e de isolamento térmico.

Estas condutas podem ser individuais ou coletivas, sendo que para cada uma há condições a cumprir. As condutas individuais devem ser, de modo geral, verticais de modo a evitar o estancamento do ar no seu interior, podendo, em alguns casos, constituir um troço inclinado com um desvio de verticalidade não superior a 20° para condutas com altura superior ou igual a 5 metros. Por outro lado, se a conduta de extração compreender uma altura inferior a 5 metros e não for destinada à extração de produtos de combustão, o seu desvio de verticalidade deve ser, no máximo, 45° . No caso de condutas de extração de produtos de combustão, para secções de área superior a 400 cm^2 , esse desvio não deve ser superior a 30° . [19]

Por outro lado, as condutas coletivas devem estender-se na vertical até à emergência da cobertura, sendo que a partir desse nível pode manifestar um troço inclinado desde que o desvio de verticalidade não ultrapasse os 20° . A ligação entre ramais à conduta coletiva de ser feita com um ângulo de desvio mais pequeno possível. [19]

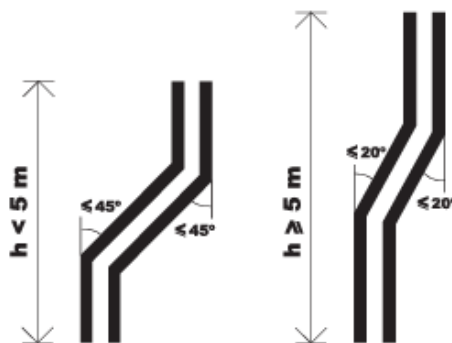


Figura 27 - Limitação de troços inclinados nas condutas de extração de ar [19]

De modo geral, as condutas para extração de produtos da combustão do gás devem resistir a temperaturas de 200°C, em permanência, e a temperaturas de 250°C durante 1 hora, sem alteração das suas características. Para condutas de extração de produtos da combustão provenientes da queima de outros combustíveis, as condutas devem suportar temperaturas de 350°C, em permanência, e temperaturas de 400°C durante 1 hora, sem alteração das suas características. As condutas devem resistir à ação química dos produtos da combustão e as juntas dos elementos que as compõem devem ser estanques. [19]

Outro aspeto, que deve ser tomado em conta, a fim de limitar as reduções de tiragem térmica das condutas de extração é reforço do isolamento térmico das paredes das condutas nas zonas adjacentes a paredes exteriores, caixas de escadas sem isolamento, como também nos troços que incluem o desvão dos telhados e nos troços emergentes das coberturas. [19]

4.3.4. VENTILADORES ESTÁTICOS E EÓLICOS

As condutas de extração, sejam individuais ou coletivas, estão equipadas no seu topo com ventiladores estáticos. Cada ventilador só pode servir apenas uma conduta, uma vez que, caso este sirva duas condutas em simultâneo, pode possibilitar a difusão de cheiros entre habitações.

A sua principal função é minimizar a influência das condições atmosféricas exteriores e devem ter as seguintes características [19]:

- Não permitir a entrada de água proveniente de chuvas para o interior da conduta;
- Em caso de ausência de vento, a perda de carga no ventilador deve ser inferior a 4 Pa, sempre que o caudal é igual à soma dos caudais-tipo de saída das aberturas servidas pela conduta;
- Um ventilador pertence à classe A desde que, o fator de depressão seja inferior a -0,5 para todas as direções de incidência fazendo com o plano horizontal um ângulo inferior ou igual a $\pm 30^\circ$ e um fator de depressão inferior a -0,35 para todas as direções de incidência fazendo com o plano horizontal um ângulo compreendido entre -60° e -30° ou entre 30° e 60° .
- Um ventilador pertence à classe B desde que, o fator de depressão seja inferior a -0,65 para todas as direções de incidência fazendo com o plano horizontal um ângulo inferior ou igual a $\pm 30^\circ$ e um fator de depressão inferior a -0,50 para todas as direções de incidência fazendo com o plano horizontal um ângulo compreendido entre -60° e -30° ou entre 30° e 60° .

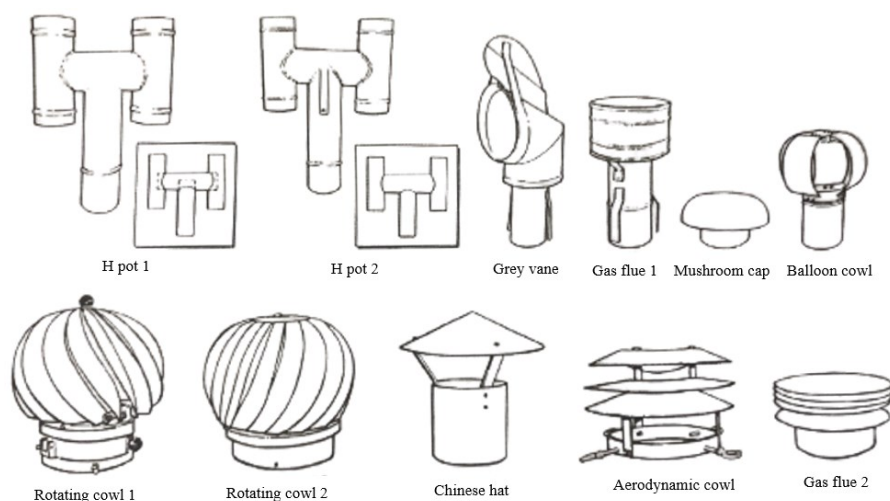


Figura 28 - Formatos de ventiladores estáticos e eólicos (Catálogo Comercial)

Dos diversos tipos de ventiladores estáticos e eólicos apresentados na figura 28, os que apresentam melhor eficiência são os balloon cowl, rotating cowl 1, rotating cowl 2 e H pot 1. Por outro lado, os que apresentam pior eficiência são os mushroom cap e chinese hat.

Os ventiladores eólicos são acionados pelo vento, isto é, a ação do vento que incide sobre as laminais do ventilador provoca um movimento giratório que permite a absorção do ar interior. Em casos de inexistência de vento, os ventiladores eólicos funcionam através do efeito térmico.

4.3.5. EXTRAÇÃO DE AR POR VENTILAÇÃO MISTA

4.3.5.1. DISPOSITIVOS DE EXTRAÇÃO DE AR EM COZINHAS

Em cozinhas, a extração de ar pode ser feita, preferencialmente, através de extração mecânica individual com velocidade variável e regulável pelo utilizador, sendo o seu caudal mínimo de extração é de $60\text{m}^3/\text{h}$.

A boca de exaustão deve ser colocada sobre o fogão, no entanto o mecanismo deve ser colocado na cobertura por motivos de conforto acústico durante o seu funcionamento, o que geralmente acontece na instalação da ventilação mecânica central.

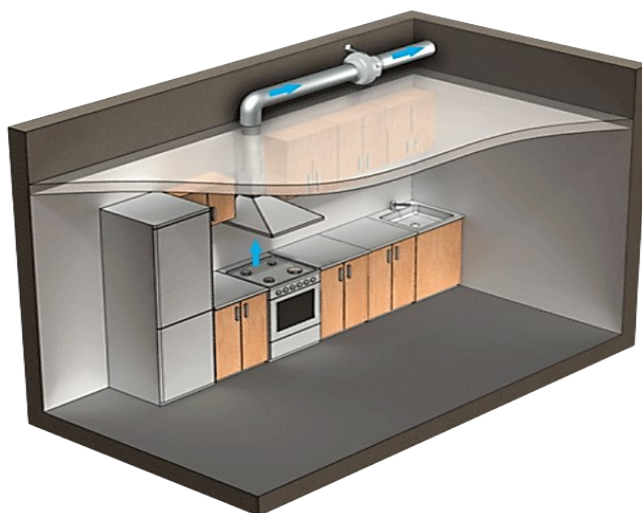


Figura 29 - Dispositivo de extração de ar em cozinhas (adaptado de [28])

4.3.5.2. DISPOSITIVOS DE COMPENSAÇÃO DE AR INTERIOR EM COZINHAS

Nas cozinhas, durante a confeção de alimentos, a produção de poluentes e vapor será superior ao normal sendo que o caudal extraído nestes períodos de funcionamento não deverá ser constante, mas sim variável. Desta forma, é necessário dimensionar uma grelha de compensação de ar que permita, pelo menos parcialmente, compensar a diferença entre o caudal de ponta e o caudal permanente, de forma que o excesso de extração não tenha de chegar a partir dos restantes compartimentos e evitar uma eventual inversão de fluxo de ventilação.

Na prática, esta compensação de ar pode ser feita das seguintes maneiras [29]:

- Grelha do tipo regulável/obturável, que permita ao utilizador regular a sua abertura em períodos de produção de vapor;
- Grelha do tipo regulável/obturável, ligadas a um autómato que a permita abrir ou fechar assim que é acionado ou desligado o caudal de ponta do exaustor;
- Grelha autorregulável, com regulação para pressões superiores às habituais.

4.3.6. APARELHOS A GÁS

Os aparelhos a gás podem ser classificados em função do modo de evacuação dos produtos de combustão e de admissão de ar comburente da seguinte forma [19]:

- Tipo A: Aparelhos deste tipo não são projetados para serem ligados a condutas ou dispositivos de evacuação dos produtos de combustão para o exterior;
- Tipo B: Aparelhos deste tipo são projetados para serem ligados a condutas de evacuação dos produtos de combustão, sendo que o ar de admissão captado é o que está presente no compartimento em que o aparelho se encontra;
- Tipo C: Aparelhos deste tipo são projetados de modo que o circuito de combustão seja estanque, admitindo e evacuando ar para combustão de forma autónoma, isto é, sem necessidade de consumir o ar interior do compartimento onde se encontra.

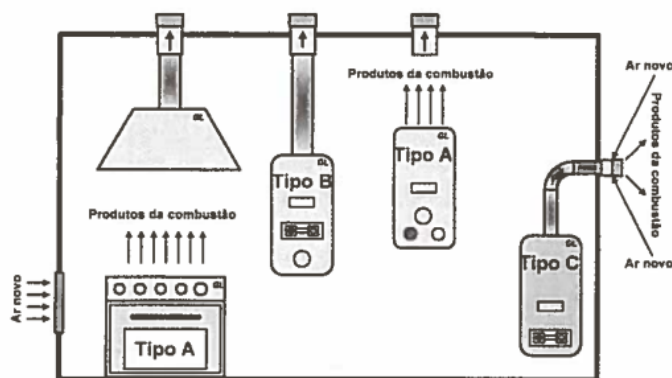


Figura 30 - Tipos de aparelhos a gás (Catálogo Comercial)

4.4. FICHAS DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Consultando alguns fornecedores, apresentam-se as fichas técnicas com as características de alguns dispositivos de ventilação.

Para os dispositivos de admissão, serão expostas fichas técnicas com as características dos dispositivos de ventilação para:

- Grelhas de admissão autorreguláveis;
- Grelhas de admissão higrorreguláveis;

Para dispositivos de extração, abordar-se-ão fichas técnicas com as respetivas características para:

- Grelhas de extração;
- Ventiladores estáticos e eólicos.

4.4.1. CARACTERÍSTICAS DISPOSITIVOS DE ADMISSÃO

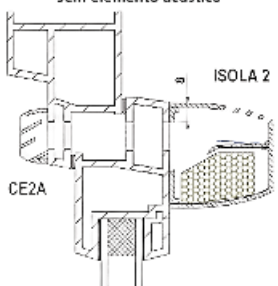
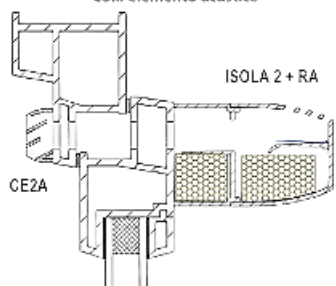
Grelha de Admissão						
A	Informação Geral					
Aplicação/Utilização				Gama		
Entradas de ar autorreguláveis com tratamento acústico; Instaladas em caixilharias de PVC, madeira e alumínio; Funcionamento entre os 20 e 100 Pa.				Caudal autorregulável: caudal variável até 41 m³/h; Proteção (tipo): CE2A; Cor standard: Branco, RAL 9016.		
B	Descrição Técnica					
Características Acústicas						
≤ 27	29-31	32-34	35-37	39-41	≥ 42	
☐	☐	☐	☒	☒	☐	
Dimensões						
Comprimento: 422mm		Altura: 45mm			Espessura: 45mm	
Desenho técnico						
Sem elemento acústico  Com elemento acústico 						

Tabela 38 - Grelha de admissão: Fornecedor A

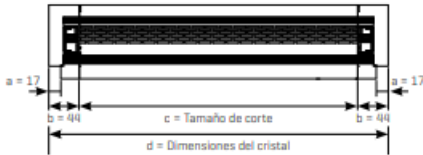
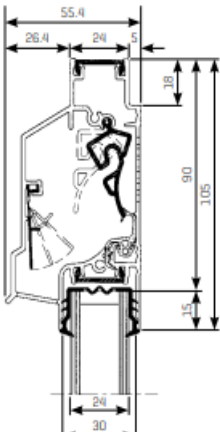
Grelha de Admissão						
A	Informação Geral					
Aplicação/Utilização				Gama		
Entradas de ar autorreguláveis que reage automaticamente a diversas pressões do vento. Instaladas em caixilharias de madeira, alumínio e PVC.				Caudal autorregulável: caudal variável até 56 m³/h; Estanquidade à água na posição fechada até 650 Pa; Estanquidade à água na posição aberta até 100 Pa.		
B	Descrição Técnica					
Características Acústicas						
≤ 27	29-31	32-34	35-37	39-41	≥ 42	
□	☒	☒	☒	☒	☒	
Dimensões						
Comprimento: tamanho do corte		Altura: 105mm			Espessura: 50 – 59 mm	
						
Desenho técnico						
						

Tabela 39 - Grelha de admissão: Fornecedor B

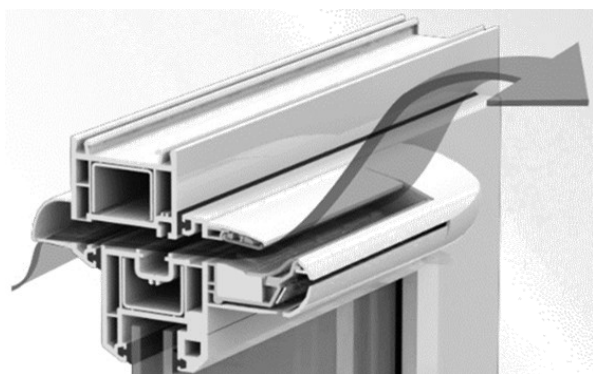
Grelha de Admissão						
A	Informação Geral					
Aplicação/Utilização				Gama		
Entradas de ar autorreguláveis com tratamento acústico; Instaladas em caixilharias de PVC, madeira e alumínio;				Caudal autorregulável: caudal variável até 35 m³/h; Cor standard: Branco, RAL 9003.		
B	Descrição Técnica					
Características Acústicas						
≤ 27	29-31	32-34	35-37	39-41	≥ 42	
□	□	□	☒	☒	☒	
Dimensões						
						
Desenho técnico						
						

Tabela 40 - Grelha de admissão: Fornecedor C

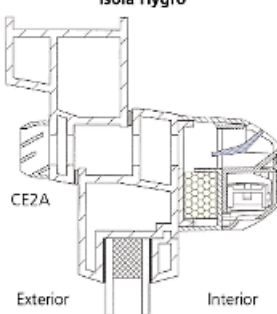
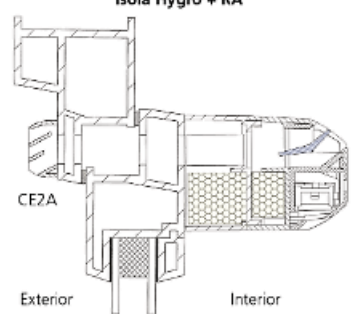
Grelha de Admissão						
A	Informação Geral					
Aplicação/Utilização				Gama		
Entradas de ar higrorreguláveis em edifícios equipados com sistemas do tipo B; Instaladas em caixilharias de PVC, madeira e alumínio;				Caudal autorregulável: caudal variável de 5 a 45 m³/h, dependendo da taxa de humidade, sob uma diferença de pressão de 20 Pa. Proteção (tipo): CE2A; Cor standard: Branco, RAL 9016.		
B	Descrição Técnica					
Características Acústicas						
≤ 27	29-31	32-34	35-37	39-41	≥ 42	
□	□	□	☒	☒	☒	
Dimensões						
Comprimento: 420mm		Altura: 45mm		Espessura: 40mm		
Desenho técnico						
Isola Hygro  Isola Hygro + RA 						

Tabela 41 - Grelha de admissão: Fornecedor D

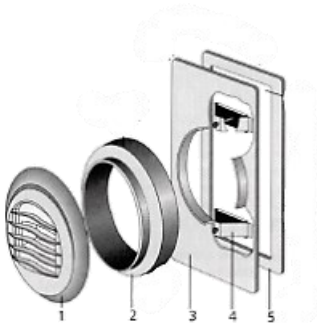
Grelha de Extração						
A	Informação Geral					
Aplicação/Utilização				Gama		
Controlo otimizado dos caudais e desempenhos acústicos conformes às exigências mais restritas; Válvulas de cozinha: visualização da abertura correspondente ao caudal máximo de extração.				Aplicada em cozinhas ou todas as divisões que necessitem de modulação do caudal extraído; Caudal de extração permanente complementado por um caudal auxiliar; Caudal variável de 15 a 135 m³/h.		
B	Descrição Técnica					
Características Acústicas						
≤ 27	29-31	32-34	35-37	39-41	≥ 42	
☒	☒	☒	☒	☒	☒	
Dimensões						
Aro Ø 125 mm com junta						
Desenho técnico						
						

Tabela 42 - Grelha de extração: Fornecedor E

4.4.2. CARACTERÍSTICAS DISPOSITIVOS DE EXTRAÇÃO

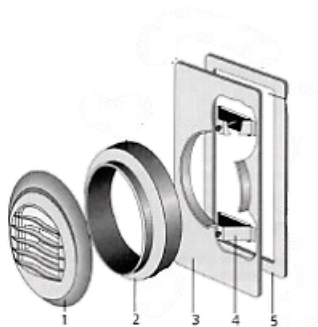
Grelha de Extração						
A	Informação Geral					
Aplicação/Utilização				Gama		
Controlo otimizado dos caudais e desempenhos acústicos conformes às exigências mais restritas; Manutenção facilitada pela desmontagem simples do módulo de regulação				Aplicada em instalações sanitárias; Caudal de extração fixo; Caudal variável de 15 a 30 m³/h para a gama habitação e de 45 a 150 m³/h para outros caudais disponíveis; Válvula sem cordão de manuseamento.		
B	Descrição Técnica					
Características Acústicas						
≤ 27	29-31	32-34	35-37	39-41	≥ 42	
☒	☒	☒	☒	☒	☒	
Dimensões						
Aro Ø 125 mm com junta						
Desenho técnico						
						

Tabela 43 - Grelha de extração: Fornecedor F

4.4.3. CARACTERÍSTICAS DE VENTILADORES

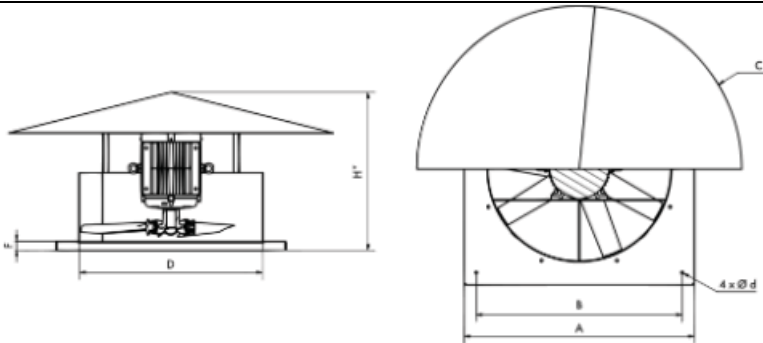
Ventiladores Estáticos	
A	Informação Geral
Aplicação/Utilização	Gama
Solução certificada para extração de ar em lugares que necessitem de desenfumagem ou de ventilação conforto; Instalação em cobertura ou terraço; Aplicações com caudais muito elevados: redução do número de ventiladores instalados.	Caudais de 2000 até 80000 m³/h; Gama composta por 10 modelos; Motor de 1 velocidade: 2, 4 ou 6 pólos, consoante os modelos; Motor de 2 velocidades: 2/4, 4/8 ou 4/6 pólos, consoante os modelos.
B	Descrição Técnica
Características	
Certificado Ventilação Conforto e Desenfumagem; Certificação F400-120 e certificado de conformidade CE; Montagem no exterior; Temperatura ambiente entre -20°C e 50°C; Temperatura de funcionamento menor a 50°C;	
Dimensões	
Diâmetro de 400 até 1250 mm	
Desenho técnico	
	

Tabela 44 - Ventilador estáticos: Fornecedor G

4.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

O presente capítulo pretendeu descrever sucintamente os dispositivos usados na ventilação natural/mista, bem como fichas técnicas de alguns fornecedores disponíveis no mercado. Assim, pode-se resumir o seguinte:

- A NP 1037-1 exige que a ventilação deve ser geral e permanente;
- A ventilação em habitações por ser feita por sistemas de ventilação natural, mecânica ou mista;
- A admissão de ar deve ser feita pelos compartimentos principais (quartos e sala) e a sua extração por compartimentos de serviço (instalações sanitárias, cozinha e despensas);
- O dimensionamento dos dispositivos de admissão, extração e passagem de ar, deve obedecer a condições necessárias de segurança, qualidade de ar, fluxo de ar e isolamento sonoro;
- Os dispositivos de admissão de ar em parede de fachada permitem a troca direta de ar exterior com o ar do interior da habitação;
- A permeabilidade ao ar de janelas e portas da envolvente é condicionante pois permitem a entrada de caudais de ar indesejáveis nos edifícios;
- As aberturas de passagem de ar interior devem permitir uma circulação constante do ar no interior das habitações, podendo ser através de folgas na porta, grelhas na porta ou na parede;
- Devido à produção de vapores e poluentes nas habitações, são necessários dispositivos de extração de ar para o exterior, sem que se propague para os edifícios vizinhos ou permita uma inversão do fluxo voltando a entrar no próprio edifício;
- No mercado é possível encontrar uma grande variedade de dispositivos de ventilação, bem como as mais diversas características associadas a cada um.

5

Aplicação do modelo de risco de condensações a um caso de estudo

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será efetuada uma aplicação do modelo desenvolvido de avaliação dos riscos de condensações em função do seu nível de isolamento térmico e do caudal de ventilação de uma fração tipo. Por outro lado, será avaliada a influência da localização do empreendimento no território nacional.

Será adotada uma solução de base do sistema de ventilação e proposta um conjunto de melhorias de forma a assegurar um caudal adequado para condições correntes de utilização do edifício.

5.2. DESCRIÇÃO GERAL DO EDIFÍCIO E DA FRAÇÃO EM ESTUDO

O edifício em causa está inserido num bairro social, localizado na cidade do Porto construído na década de 70. O edifício em questão é composto por habitações de tipologia T2.

Cada habitação é composta por dois quartos, sala, cozinha e uma casa de banho. Cada quarto da habitação tem 12,5 metros quadrados de área e a sala tem 25 metros quadrados de área, com um pé direito de 2,8 m, o que se traduz, para estas três divisões, num volume total de 140 m³. O volume total da habitação é de 200 m³.

As paredes exteriores em zona corrente da solução construtiva original contam com um coeficiente de transmissão térmica igual a 2,00 ($U = 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$), sendo que a habitação, após reabilitada parcialmente, isolou as paredes da fachada resultando num coeficiente de transmissão térmica de 0,65 ($U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$).

5.3. RISCO DE CONDENSAÇÕES EM FUNÇÃO DA PRODUÇÃO DE VAPOR INTERIOR

Neste capítulo, será utilizado o modelo de cálculo de avaliação do risco de condensações do capítulo 3 tendo em conta a variação dos valores da produção de vapor interior e mantendo o caudal de ventilação constante. Assim, serão introduzidos os valores para o caso de estudo em questão e avaliar-se-á o risco de condensações.

Considerando um caudal de admissão de aproximadamente 30 m³/h para cada quarto e de 60 m³/h para a sala, totaliza-se um caudal de 120 m³/h para a habitação, valores propostos na NP-1037 e que serão utilizados na folha Excel.

Como a habitação está localizada na cidade do Porto, os valores médios da temperatura exterior e da humidade relativa exterior serão os apresentados em 3.3.2.

Refira-se que a primeira coluna traduz os valores médios mensais da temperatura exterior dos seguintes meses: janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro.

U(W/m²°C) = 2									
			wi (g/h)	150	300	450	600	750	900
			n (Rph)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
			Vi (m³)	200	200	200	200	200	200
			Q (m³/h)	120	120	120	120	120	120
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações - (Pi-Ps)						
9	14	101000	Risco de condensações - (Pi-Ps)	-357,62	-194,12	-31,16	131,27	293,17	454,55
	16			-509,26	-345,76	-182,80	-20,37	141,53	302,91
	18			-674,38	-510,88	-347,91	-185,48	-23,58	137,80
10	14	101000		-364,76	-201,32	-38,41	123,97	285,81	447,14
	16			-518,58	-355,13	-192,23	-29,85	132,00	293,32
	18			-686,03	-522,59	-359,68	-197,31	-35,46	125,86
12	14	101000							
	16			-491,01	-327,83	-165,19	-3,08	158,50	319,56
	18			-663,23	-500,06	-337,41	-175,30	-13,72	147,34
13	14	101000							
	16			-432,41	-269,52	-107,16	54,67	215,98	376,76
	18			-607,06	-444,17	-281,81	-119,98	41,33	202,11
16	14	101000							
	16								
	18			-402,17	-240,25	-78,86	82,01	242,36	402,19
12	14	101000							
	16			-421,00	-258,05	-95,64	66,25	227,61	388,44
	18			-593,22	-430,27	-267,86	-105,98	55,38	216,22
10	14	101000		-340,24	-176,88	-14,05	148,24	310,01	471,25
	16			-494,06	-330,70	-167,87	-5,58	156,19	317,44
	18			-661,52	-498,16	-335,33	-173,03	-11,26	149,98

Tabela 45 - Risco de condensações com U = 2 W/m²°C

Na Tabela 45, é possível observar que quando o caudal de ventilação se mantém constante, o risco de condensações é maior quanto maior for a produção de vapor interior. Isto é, quando o ar interior fica mais húmido, se não houver uma renovação do ar interior, assegurada pelo caudal de ventilação, haverá grande probabilidade de ocorrência de condensações.

De salientar que o caso da Tabela 45 é feito para um U = 2 W/m²°C, ou seja, o facto de as paredes não possuírem isolamento fará com que a habitação esteja mais vulnerável a este tipo de patologia.

U(W/m²°C) = 0,65			wi (g/h)	150	300	450	600	750	900
			n (Rph)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
			Vi (m³)	200	200	200	200	200	200
			Q (m³/h)	120	120	120	120	120	120
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações - (Pi-Ps)						
9	14	101000	Risco de condensações - (Pi-Ps)	-441,3	-277,8	-114,9	47,6	209,5	370,9
	16			-638,1	-474,6	-311,7	-149,2	12,7	174,1
	18			-856,3	-692,8	-529,8	-367,4	-205,5	-44,1
10	14	101000		-432,4	-268,9	-106,0	56,4	218,2	379,5
	16			-630,1	-466,6	-303,7	-141,3	20,5	181,8
	18			-849,2	-685,8	-522,9	-360,5	-198,7	-37,3
12	14	101000							
	16			-566,7	-403,5	-240,9	-78,8	82,8	243,9
	18			-787,9	-624,7	-462,1	-300,0	-138,4	22,7
13	14	101000							
	16			-489,7	-326,8	-164,5	-2,6	158,7	319,4
	18			-711,9	-549,0	-386,6	-224,8	-63,5	97,3
16	14	101000							
	16								
	18			-445,3	-283,4	-122,0	38,9	199,3	359,1
12	14	101000							
	16			-496,7	-333,8	-171,3	-9,5	151,9	312,7
	18			-717,9	-554,9	-392,5	-230,6	-69,3	91,6
10	14	101000		-407,8	-244,5	-81,6	80,6	242,4	403,7
	16			-605,5	-442,2	-279,3	-117,1	44,7	206,0
	18			-824,7	-661,4	-498,5	-336,2	-174,5	-13,2

 Tabela 46 - Risco de condensações com $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Na Tabela 46, o raciocínio e a aplicação serão os mesmos que anteriormente, porém neste caso as paredes já reabilitadas terão isolamento, o que se traduz num valor de $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Comparando a Tabela 45 com a Tabela 46, podemos observar uma diminuição dos riscos de condensações minimizados apenas por um isolamento das paredes. Porém, tal como previamente, à medida que a produção de vapor interior aumenta, com caudal de ventilação constante, o risco de condensações também aumentará.

5.4. RISCO DE CONDENSAÇÕES EM FUNÇÃO DA LOCALIZAÇÃO NO TERRITÓRIO NACIONAL

Edifícios com as mesmas características, mas localizados em lugares distintos do território nacional, apresentam diferentes riscos de condensações. De forma a verificar a veracidade desta afirmação, foi usado o modelo de cálculo com os dados climáticos para a cidade do Porto e, num segundo caso hipotético, utilizado com os dados climáticos da cidade de Bragança, assumindo que este edifício se localizava nesta cidade.

Para o objetivo do presente capítulo, no cálculo manteve-se fixo o valor do caudal de ventilação e da produção de vapor interior, de forma a ser possível observar a influência da localização dos edifícios no risco de condensações.

O valor da produção de vapor interior fixado foi de 600 g/h, uma vez que se trata de uma habitação inserida num bairro social onde por vezes, devido à falta de capacidade económica, existe um baixo volume para elevada ocupação. Assim, através da higrometria, poderemos comprovar se 600 g/h é um valor de utilização aceitável.

A produção de vapor interior, ωi , e o caudal de ventilação, $n * V$, são variáveis de acordo com a utilização. O quociente entre estas duas variáveis, $\frac{\omega i}{n * V}$, designa-se por parâmetro higrométrico e permite classificar os edifícios quando à sua produção de vapor de acordo com a Tabela 47.

Higrometria	$\frac{\omega i}{n * V} \text{ (g/m}^3\text{)}$	Tipo de edifício
Fraca	< 2,5	Escolas e escritórios
Média	2,5 a 5,0	Habitções bem ventiladas e sem excesso de ocupação
Forte	5,0 a 7,5	Habitções mal ventiladas e indústria em geral
Muito Forte	>7,5	Piscinas e certas indústrias

Tabela 47 - Classificação dos edifícios quanto à sua higrometria

Assim, fazendo o quociente entre a produção de vapor admitida com o caudal de 120 m³/h, obteremos um valor de 5,0 g/m³, correspondente a uma higrometria média. Assim, apresentam-se os resultados do risco de condensações para duas cidades distintas, mas com a mesma produção de vapor e caudal de ventilação.

U(W/m²°C) = 2			wi (g/h)	600
			n (Rph)	0,6
			Vi (m³)	200
			Q (m³/h)	120
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações	
9	14	101000	Risco de condensações - (Pt-Ps)	131,27
	16			-20,37
	18			-185,48
10	14	101000		123,97
	16			-29,85
	18			-197,31
12	14	101000		
	16			-3,08
	18			-175,30
13	14	101000		
	16			54,67
	18			-119,98
16	14	101000		
	16			
	18			82,01
12	14	101000		
	16			66,25
	18			-105,98
10	14	101000		
	16			148,24
	18			-5,58
				-173,03

Tabela 48 - Risco de condensações com
U = 2 W/m²°C, na cidade do Porto

U(W/m²°C) = 0,65			wi (g/h)	600
			n (Rph)	0,6
			Vi (m³)	200
			Q (m³/h)	120
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações	
9	14	101000	Risco de condensações - (Pt-Ps)	47,6
	16			-149,2
	18			-367,4
10	14	101000		56,4
	16			-141,3
	18			-360,5
12	14	101000		
	16			-78,8
	18			-300,0
13	14	101000		
	16			-2,6
	18			-224,8
16	14	101000		
	16			
	18			38,9
12	14	101000		
	16			-9,5
	18			-230,6
10	14	101000	80,6	
	16		-117,1	
	18		-336,2	

Tabela 49 – Risco de condensações com
U = 0,65 W/m²°C, na cidade do Porto

U(W/m²°C) = 2			wi (g/h)	600
			n (Rph)	0,6
			Vi (m³)	200
			Q (m³/h)	120
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações	
4	14	102000	Risco de condensações - (Pi-Ps)	-4,30
	16			-145,43
	18			-299,25
6	14	102000		-12,18
	16			-157,44
	18			-315,69
9	14	102000		1,70
	16			-149,94
	18			-315,06
11	14	102000		68,26
	16			-87,76
	18			-257,58
13	14	102000		
	16			16,84
	18			-157,81
8	14	102000		89,45
	16			-60,04
	18			-222,84
5	14	102000	14,07	
	16		-129,11	
	18		-285,14	

Tabela 50 - Risco de condensações com $U = 2 W/m^2°C$, na cidade de Bragança

U(W/m²°C) = 0,65			wi (g/h)	600
			n (Rph)	0,6
			Vi (m³)	200
			Q (m³/h)	120
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações	
4	14	102000	Risco de condensações - (Pt-Ps)	-163,95
	16			-356,26
	18			-569,56
6	14	102000		-142,34
	16			-336,44
	18			-551,68
9	14	102000		-82,00
	16			-278,79
	18			-496,99
11	14	102000		17,09
	16			-181,52
	18			-401,70
13	14	102000		
	16			-40,48
	18			-262,65
8	14	102000		-10,04
	16			-205,93
	18			-423,14
5	14	102000	-130,98	
	16		-324,18	
	18		-538,46	

Tabela 51 - Risco de condensações com $U = 0,65 W/m^2°C$, na cidade de Bragança

Observando as Tabelas 48-51, é possível afirmar que, tal como esperado, a localização do edifício no território nacional é influente no risco de condensações. Assim, o edifício na cidade do Porto, para uma produção de vapor interior de 600 g/h e um caudal de ventilação de 120 m³/h, correrá mais risco de ocorrência de condensações que o mesmo edifício com as mesmas condições interiores, mas situado em Bragança. Pode parecer um pouco contraditório este facto devido a temperaturas médias bastante inferiores na cidade de Bragança, porém, o ar nesta cidade é mais seco que o ar na cidade do Porto, logo atenua as ocorrências desta patologia.

5.5. IMPORTÂNCIA DA VENTILAÇÃO

É conhecido que num espaço, mesmo com o aumento de produção de vapor interior, quanto melhor for ventilado menor será o risco de condensações. A ventilação deve ser geral e permanente, porém não deve ser feita de modo incontrolado e exagerado de modo a criar desconforto para os ocupantes.

O edifício em estudo, de construção na década de 70, não conta com orifícios específicos de ventilação, sendo que a admissão de ar nos compartimentos principais é garantida pela abertura de janelas, tal como a exaustão nas instalações sanitárias. Em relação à extração de ar na cozinha, é feita por uma chaminé coletiva que reúne as condutas de exaustão das cozinhas das habitações do edifício, não estando associadas a nenhum dispositivo mecânico.

Tal como nos dispositivos de admissão e extração de ar, haverá também uma carência nas caixilharias e vãos envidraçados, que possuirão uma baixíssima estanquidade ao ar.

Sem medições e ensaios realizados, mas a ter em conta as características enunciadas anteriormente, é possível assumir que o número de renovações de ar por hora (Rph) rondará o valor de 0,6 Rph (h^{-1}), isto é, é renovado cerca de 60% do volume de ar existente na casa

O valor de 0,6 estará em cumprimento com a regulação existente (Portaria 138 – I/202), que estabelece um valor mínimo da taxa de renovação horária nos edifícios de habitação de $\text{Rph}_{\text{min}} (\text{h}^{-1}) = 0,5$. Neste caso haverá grande possibilidade de ocorrência de patologias associadas a condensações, como se evidencia nas Tabelas 52 e 53.

De modo a ter uma sensibilidade maior em relação à influência e importância da ventilação no risco de condensações, nas Tabelas 52 e 53 é possível verificar que o aumento da ventilação elimina a ocorrência de condensações.

U(W/m²°C) = 2			wi (g/h)	600	600	600	600
			n (Rph)	0,6	0,8	1	1,2
			Vi (m³)	200	200	200	200
			Q (m³/h)	120	160	200	240
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações - (Pi-Ps)				
9	14	101000	Risco de condensações - (Pi-Ps)	131,27	-31,16	-128,88	-194,12
	16			-20,37	-182,80	-280,51	-345,76
	18			-185,48	-347,91	-445,63	-510,88
10	14	101000		123,97	-38,41	-136,09	-201,32
	16			-29,85	-192,23	-289,91	-355,13
	18			-197,31	-359,68	-457,36	-522,59
12	14	101000					
	16			-3,08	-165,19	-262,71	-327,83
	18			-175,30	-337,41	-434,94	-500,06
13	14	101000					
	16			54,67	-107,16	-204,51	-269,52
	18			-119,98	-281,81	-379,16	-444,17
16	14	101000					
	16						
	18			82,01	-78,86	-175,63	-240,25
12	14	101000					
	16			66,25	-95,64	-193,02	-258,05
	18			-105,98	-267,86	-365,25	-430,27
10	14	101000		148,24	-14,05	-111,69	-176,88
	16			-5,58	-167,87	-265,50	-330,70
	18			-173,03	-335,33	-432,96	-498,16

Tabela 52 - Influência na ventilação no risco de condensações para uma habitação no Porto
com U = 2 W/m²°C

U(W/m²°C) = 0,65			wi (g/h)	600	600	600	600
			n (Rph)	0,6	0,8	1	1,2
			Vi (m³)	200	200	200	200
			Q (m³/h)	120	160	200	240
Te (°C)	Ti (°C)	Pt (Pa)	Risco de condensações - (Pi-Ps)				
9	14	101000	Risco de condensações - (Pi-Ps)	47,58	-114,86	-212,57	-277,82
	16			-149,22	-311,65	-409,36	-474,61
	18			-367,41	-529,84	-627,56	-692,81
10	14	101000		56,37	-106,00	-203,68	-268,91
	16			-141,33	-303,70	-401,38	-466,61
	18			-360,51	-522,89	-620,57	-685,79
12	14	101000					
	16			-78,79	-240,90	-338,42	-403,54
	18			-299,97	-462,08	-559,60	-624,72
13	14	101000					
	16			-2,64	-164,47	-261,83	-326,83
	18			-224,82	-386,65	-484,00	-549,01
16	14	101000					
	16						
	18			38,91	-121,96	-218,73	-283,35
12	14	101000					
	16			-9,46	-171,35	-268,73	-333,76
	18			-230,64	-392,52	-489,91	-554,94
10	14	101000		80,65	-81,65	-179,28	-244,47
	16			-117,05	-279,35	-376,98	-442,18
	18			-336,23	-498,53	-596,16	-661,36

Tabela 53 - Influência na ventilação no risco de condensações para uma habitação no Porto com U = 0,65 W/m²°C

5.6. MEDIDAS DE MELHORIA DE VENTILAÇÃO PARA ASSEGURAR O CAUDAL NECESSÁRIO

Neste subcapítulo, serão apresentados os dispositivos de ventilação mista que traduzem uma melhoria da ventilação da habitação face ao caudal de base 120m³/h, explicitado no ponto 5.3, acrescentou-se, para este estudo, mais 30 m³/h, o que conduz a um novo caudal da ordem de 160 m³/h. As medidas de melhoria consistem em introduzir uma nova grelha autorregulável na sala com 40 m³/h, bem como extração mecânica na casa de banho, em substituição da natural com um caudal permanente de 60 m³/h, e na cozinha o ventilador será de velocidade variável com um valor mínimo de 100 m³/h.

A admissão de ar em compartimentos principais, como os quartos e a sala, são efetuadas através de grelhas autorreguláveis instaladas nas caixas de estore das janelas.

A extração do ar ocorre nos compartimentos de serviço, isto é, na cozinha e na instalação sanitária. Na cozinha, a extração é feita através de dispositivos de ventilação mecânica, com um caudal de ventilação mínimo de 90 m³/h, sendo que, em horários de confeção de alimentos, há possibilidade de um aumento do respetivo caudal caso seja necessário.

A passagem de ar interior entre os compartimentos pode ser efetuada por instalação de grelhas na porta interior ou na parede adjacente. Caso as portas existentes possuam uma permeabilidade ao ar suficiente que permita a passagem do ar pela frincha inferior da mesma, a instalação de grelhas fica sem efeito.

Com estas medidas de melhoria constata-se através da Tabela 52 e 53 que, com o aumento do caudal de 120 m³/h para 160 m³/h, deixa de haver risco de condensação para paredes isoladas ($U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$) e, mesmo para paredes mal isoladas ($U = 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$) apenas apresentam valores no limite do risco. Este estudo é feito mantendo os valores de produção de vapor interiores e variando as temperaturas exteriores.

6

Conclusões

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluída a presente dissertação, é possível reiterar que os principais objetivos propostos foram atingidos, sendo abordados com detalhe e clareza. Assim, e apesar de no final de cada capítulo ter sido feita uma síntese relatando as conclusões mais importantes para cada um deles, apresenta-se neste capítulo um conjunto de considerações finais que proporcionam uma visão global do tema.

A ventilação das habitações deve ser geral e permanente, sendo que a sua insuficiência origina condições de desconforto, de insegurança e mal-estar dos ocupantes, bem como possibilita a criação de condições necessárias para a ocorrência de patologias, entre as quais o desenvolvimento de fungos, condensações interiores, entre outras.

Deste modo, teor de humidade relativa e a temperatura são fatores relevantes que influenciam de modo considerável o desenvolvimento de fungos, condicionando a qualidade do ar interior.

O fenómeno de condensações é recorrente em variadíssimos edifícios de construção, e por vezes, a sua prevenção não é concretizada de forma correta porque há incompreensão da influência de diversos fatores que, direta ou indiretamente, promovem este fenómeno.

Para tal, o modelo de cálculo desenvolvido foi executado de modo a que fosse possível fazer o estudo dos inúmeros parâmetros que influenciam o fenómeno de condensações superficiais, introduzindo e cruzando cada um deles de forma a avaliar o seu risco para cada conjunto de condições. Desta forma, no modelo de cálculo desenvolvido, os resultados serão apresentados em tabelas onde cada célula representa o risco de condensações através do valor de ΔP obtido em função das condições exteriores e interiores. Obtidos os valores de ΔP , as células com valor positivo são coloridas a vermelho visto que correspondem a condensações superficiais no elemento construtivos estudado, tornando-as visualmente evidentes. Por outro lado, as células preenchidas a amarelo, são aquelas que apesar de conterem um ΔP negativo, este está muito próximo de zero, o que traduz um risco potencial de condensações, devendo carecer de especial atenção e cuidado.

Dos parâmetros anteriormente referidos, serão descritos sucintamente aqueles que o seu valor foi variável no modelo desenvolvido para o estudo do risco de condensações:

- Humidade relativa e temperatura exterior – Os valores destes dois parâmetros são diferentes para pontos distintos no território nacional, sendo que como foram abordadas as cidades Bragança, Porto e Lisboa, para cada uma delas, há diferentes valores de temperatura e humidade exterior, bem como resultados;
- Pressão atmosférica – Tal como nos parâmetros anteriores, a pressão atmosférica varia de localização para localização;
- Produção de vapor interior – A produção de vapor interior varia consoante o tipo de atividade realizada no local, sendo que para locais onde há uma produção de vapor elevada e uma ventilação insuficiente, o risco de condensações é também elevado;
- Renovações por hora – A ventilação tem um papel fundamental na prevenção das condensações, sendo que, conforme observado nos resultados do modelo desenvolvido, para situações de maior

número de renovações horárias, independentemente do valor de produção de vapor interior, o risco é menor;

- Coeficiente de transmissão térmica – Foram usados dois valores, $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e $U = 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$, correspondendo a uma parede com isolamento térmico e uma parede sem isolamento térmico, respetivamente, de modo a ser possível concluir o efeito deste parâmetro no risco de condensações.

Por fim, foi feita uma aplicação a um caso prático de uma habitação na localidade do Porto, que permitisse pôr em prática o modelo desenvolvido e concluir o risco de condensações para as diversas condições exteriores e interiores.

6.2. PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO

Com o término desta dissertação é possível concluir que é possível desenvolverem-se trabalhos futuros para este tema, tal como a aplicação deste modelo desenvolvido a um programa informático em que:

- Contenha uma base de dados com climas para os diferentes pontos do país, necessitando apenas de escolher o distrito e concelho onde se localiza a habitação;
- Apresente medidas de prevenção que atenuem o risco de condensações;
- Inclua diferentes catálogos com a caracterização de todos os componentes do sistema de ventilação.

Por outro lado, propõem-se a análise das consequências de condensações e bolores na saúde humana e a divulgação de ações de sensibilização visando a melhor utilização dos edifícios de forma a minimizar este problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gomes, J. (1995). *The appearance of moulds in buildings*. International Symposium on Moisture Problems in Building Walls.
- [2] Mendonça, L. V. (2005). Condensações em Edifícios. Em *Arquitetura & Vida*.
- [3] Jesus, M. d. (2019). *Estudo de caso das manifestações patológicas em uma residência unifamiliar na cidade de Jaraguá*.
- [4] Sousa, V., Pereira, F. D., & Brito, J. d. (2005). *Rebocos Tradicionais: Principais Causas de Degradação*.
- [5] Sedlbauer, K. (2001). *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building componentes*.
- [6] (2022). Obtido de Adobe Stock: <https://stock.adobe.com/>
- [7] Viitanen, H. (2008). *Development of an improved model for mould growth: Modelling*.
- [8] Clarke, J. (1999). *A technique for the prediction of the conditions leading to mould growth in buildings*.
- [9] Adan, O. (1994). On the fungal defacement of interior finishes. Technische Universiteit Eindhoven.
- [10] Sedlbauer, K., Krus, M., Zillig, W., Kunze, H. M. (2001). Mold growth prediction by computational simulation.
- [11] J.H. Xiao, D.X. Chen, J.W. Liu, Z.L. Liu, W.H. Wan, N. Fang, Y. Xiao, Y. Qi, Z.Q. Liang. (2003). Optimization of submerged culture requirements for the production of mycelial growth and exopolysaccharide by *Cordyceps jiangxiensis* JXPJ 0109.
- [12] (2022). Obtido de My Energy Shield: <https://energysshield.pt/>
- [13] Ferreira, C. S. (2015). *Inércia Higroscópica em museus instalados em edifícios antigos*.
- [14] Abreu, C. F. (2010). *O ambiente interior e a saúde dos ocupantes de edifícios de habitação*.
- [15] Amaral, M. A. (2008). *Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação*.
- [16] Vasco Freitas e Manuel Pinto, (2001). *Ventilação Natural de Edifícios de Habitação*.
- [17] Despacho n.º 15793K (2013). *Diário da República, 2.ª série – N.º 234, Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, dezembro, Lisboa*.
- [18] Portaria n.º 138I (2021). *Diário da República, 1.ª série – N.º 126, Portaria n.º 138-I/2021, julho, Lisboa*.
- [19] PORTUGAL. INSTITUTO PORTUGUÊS DA, Qualidade (2015) - Ventilação de edifícios com ou sem aparelhos a gás - Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural.
- [20] Código Técnico de la Edificación - Sección HS3 Calidad del air interior (20 de Abril de 2009), Documento Básico HS Salubridad.
- [21] "ARRÊTE DU 24 MARS 1982", modifié par arrête du 28 Octobre 1983 - Disposition relative à l'aération des logements
- [22] Vasco Peixoto de Freitas e Paulo da Silva Pinto. (1998). NIT 002 - Permeabilidade ao vapor de materiais de construção - Condensações internas.

- [23] Carlos A. Pina dos Santos e Luis Matias. (2006). ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios.
- [24] (2022). Obtido de World Meteorological Organization: <https://worldweather.wmo.int/>
- [25] Santos, M. R.-B. (2017). *Ventilação natural e comportamento térmico de edifícios*.
- [26] (2022). Obtido de Renson: <https://www.renson.eu/gd-gb>
- [27] (2022). Obtido de MULTIVAC: <https://pt.multivac.com/pt/>
- [28] (2022). Obtido de PRILOK: <https://prilok.ru/pt/>
- [29] Peneda, M. A. (2013). *Recomendações para o projeto de sistemas de ventilação mista em edifícios de habitação*.

