

CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS INTERIORES

Avaliação do Risco

JOÃO PEDRO SEQUEIRA RODRIGUES FERREIRA DUARTE

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

Orientador: Professor Doutor Vasco Peixoto de Freitas

JANEIRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

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 - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo 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 electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Doutor Vasco Peixoto de Freitas, pela oportunidade que me proporcionou de realizar este trabalho escolhendo este tema, e pela ajuda e contributo fundamental para que o objectivo desta dissertação fosse atingido. Sobretudo pelo apoio no meu desenvolvimento como estudante, porque sem dúvida foi um semestre de aprendizagem, descoberta, e onde adquiri uma perspectiva nova sobre o que é ser engenheiro. Por todos os ensinamentos transmitidos, opiniões partilhadas, assim como pela disponibilidade e motivação demonstrados, o meu muito obrigado.

A todos os meus amigos, que fizeram e fazem parte de todos os momentos da minha vida, mas em especial ao Hugo, à Joana, ao João, à Carolina e ao Samuel. Ao meu companheiro de trabalho Bruno.

A ti Sara por seres um pilar na minha vida.

Por último, à minha família. Vocês são o meu orgulho e o meu porto seguro. Gostava de ter palavras que conseguissem transmitir o que sinto, espero um dia ser merecedor de vos ter do meu lado.

RESUMO

O problema das humidades das habitações é uma patologia frequente nos edifícios em Portugal nos nossos dias. A condensação superficial pelo interior é um problema comum a milhares de fogos no território português.

Neste trabalho tentou-se estudar através de dois modelos de cálculo, um em regime permanente e outro em regime dinâmico, a importância e a influência de parâmetros como a temperatura interior, o coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo, a higrometria e as condições climáticas da zona em estudo nos problemas de condensação.

Esta pesquisa permitiu a comparação dos dois métodos apontando as vantagens e limitações encontradas em cada um, assim como perceber a influência de todos os parâmetros estudados, como tinha sido proposto inicialmente.

PALAVRAS-CHAVE: Edifícios, Humidade relativa, Temperatura ambiente, Coeficiente de transmissão térmica, Ventilação.

ABSTRACT

The problem of damp housing is a condition common nowadays. The superficial condensation to the interior surface is a problem common to thousands of buildings in the Portuguese territory.

This paper tried to study, using two models for calculating, the role and influence of parameters such as indoor temperature, heat transfer coefficient of building elements, indoor humidity and ventilation, and the climate of the area in the problems of condensation.

This study allows us to compare the two methods pointing out the advantages and limitations found in each, as well as see the influence of all parameters studied, as was proposed initially located

KEYWORDS: Buildings, Relative humidity, Ambient temperature, Heat transfer coefficient, Ventilation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
2. CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS INTERIORES	5
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
2.2. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM AS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS	7
2.2.1. HUMIDADE RELATIVA	7
2.2.2. TEMPERATURA INTERIOR	8
2.2.3. VENTILAÇÃO	10
2.2.3.1. Noções de ventilação	11
2.2.4. PRODUÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA	12
2.2.5. CONDIÇÕES EXTERIORES	14
3. QUANTIFICAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS INTERIORES	17
3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	17
3.2. MODELO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO – REGIME PERMANENTE	17
3.3. MODELO DE CÁLCULO EM REGIME DINÂMICO	20
4. AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS INTERIORES – Regime Permanente e Regime Dinâmico	27
4.1. ASPECTOS GERAIS	27
4.2. INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA	30

4.2.1. TIPOS DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS ESTUDADOS.....	30
4.2.1.1. Descrição e esquematização dos elementos construtivos usados.....	30
4.2.2. RESULTADOS.....	32
4.2.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	36
4.3. INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO	36
4.3.1. VALORES USADOS.....	36
4.3.2. RESULTADOS.....	36
4.3.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	38
4.4. INFLUÊNCIA DA PRODUÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA.....	39
4.4.1. VALORES USADOS.....	39
4.4.2. RESULTADOS.....	39
4.4.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	41
4.5. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA INTERIOR.....	43
4.5.1. VALORES USADOS.....	43
4.5.2. RESULTADOS.....	43
4.5.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	45
4.6. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA EXTERIORES	46
4.6.1. VALORES USADOS.....	46
4.6.2. RESULTADOS.....	46
4.6.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	48
4.7. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO	48
4.7.1. RESULTADOS.....	48
4.7.2. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	50
5. APLICAÇÃO A UM CASO PRÁTICO.....	53
5.1. APLICAÇÃO A UM CASO PRÁTICO	53
6. CONCLUSÕES.....	57
5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	57
5.2. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO.....	58
BIBLIOGRAFIA.....	61

ANEXOS	63
A – GRÁFICO DA ANÁLISE ANUAL	
B – QUADROS DE RESULTADOS EM REGIME PERMANENTE	
C – GRÁFICOS DOS RESULTADOS COM DIFERENTES RENOVAÇÕES HORÁRIAS	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Fig. 2.1 – Diagrama psicométrico. [2].....	6
Fig. 2.2 - Esquemas representativos de diferentes situações.[13]	7
Fig. 2.3 – Efeito da humidade relativa em vários parâmetros relacionados com a saúde e qualidade do ar. [3]	8
Fig. 2.4 – Intervalo de conforto higrotérmico para o inverno e o verão. [7].....	9
Fig. 2.5 – Relação entre ventilação e humidade relativa interior (com temperatura interior de 21°C, humidade relativa exterior de 50%, produção de vapor de $10 \times 10^{-5} \text{kg/s}$, numa área 111m^2). [6].....	10
Fig. 2.6 – Esquemas de ventilação dentro de um apartamento. [7]	11
Fig. 2.7 – Mapa de temperaturas médias anuais em Portugal continental.[14].....	15
Fig. 2.8 – Mapa de temperaturas médias mensais em Portugal continental nos meses de Janeiro e Julho respectivamente. [14]	15

CAPÍTULO 3

Fig. 3.1 – Ecrã principal Wufi Pro 4.2. [14].....	21
Fig. 3.2 – Opções do menu principal. [14]	21
Fig. 3.3 – Caixa informação sobre o projecto. [14]	22
Fig. 3.4 – Esquema da estrutura do projecto. [14].....	22
Fig. 3.5 – Caixas de diálogo na pasta “Component” (1). [14]	23
Fig. 3.6 – Caixas “Lista de materiais”. [14].....	23
Fig. 3.7 – Caixas de diálogo na pasta “Control”. [14].....	24
Fig. 3.8 – Caixas de diálogo na pasta “Climate”. [14]	24
Fig. 3.9 – Gráfico da variação total da água numa parede. [14].....	24
Fig. 3.10 – Gráfico tipo em regime dinâmico.	25

CAPÍTULO 4

Fig. 4.1 – Dados médios mensais do Porto	27
Fig. 4.2 – Dados médios mensais de Bragança.	28
Fig. 4.3 – Dados médios mensais de Lisboa.	28
Fig. 4.4 – Dados médios mensais de Braga.	28
Fig. 4.5 – Dados médios mensais de Faro.	29
Fig. 4.6 – Dados médios mensais de Beja.....	29

Fig. 4.7 – Localização das cidades escolhidas	29
Fig. 4.8 – Parede dupla com isolamento térmico na caixa de ar, $U= 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$	30
Fig. 4.9 – Parede simples sem isolamento, $U= 2,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$	31
Fig. 4.10 – Parede de pedra, $U=3,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$	31
Fig. 4.11 – Janela de vidro duplo, $U= 3,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$	31
Fig. 4.12 – Janela de vidro simples, $U= 5,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$	32
Fig. 4.13 – Influência do elemento construtivo, no Porto voltado a sul no mês de Março.....	35
Fig. 4.14 – Influência do elemento construtivo, no Porto voltado a sul no mês de Abril.....	35
Fig. 4.15 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, no Porto voltada a sul no mês de Outubro.....	38
Fig. 4.16 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, no Porto voltada a sul no mês de Dezembro	38
Fig. 4.17 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Lisboa voltada a sul no mês de Dezembro.....	41
Fig. 4.18 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Lisboa voltada a sul no mês de Março.....	41
Fig. 4.19 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Lisboa voltada a sul no mês de Março.....	42
Fig. 4.20 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Lisboa voltada a sul no mês de Março.....	42
Fig. 4.21 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Braga voltada a norte no mês de Outubro.....	45
Fig. 4.22 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Braga voltada a norte no mês de Dezembro	45
Fig. 4.23 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, no Porto voltada a Sul no mês de Outubro.....	47
Fig. 4.24 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Bragança voltada a Sul no mês de Outubro.....	47
Fig. 4.25 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, no Porto voltada a Sul no mês de Dezembro.....	48
Fig. 4.26 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, no Porto voltada a Norte no mês de Dezembro.....	49
Fig. 4.27 – Análise da influencia da orientação no Porto numa parede com $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$ em Dezembro.....	49
Fig. 4.28 – Análise da influencia da orientação no Porto numa parede com $U=3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ em Dezembro.....	49
Fig. 4.29 – Análise da influência da orientação no Porto em paredes diferentes em Dezembro	50
Fig. 4.30 – Análise da influência da orientação no Porto em paredes diferentes em Abril.....	51

Fig. 4.31 – Análise da influência da orientação em Lisboa em paredes diferentes em Abril.51

Fig. 4.32 – Análise da influência da orientação em Bragança em paredes diferentes em Abril.51

Fig. 4.33 – Análise da influência da orientação em Braga em paredes diferentes em Abril.52

Fig. 4.34 – Análise da influência da orientação no Porto em meses diferentes numa parede com $U=3$ W/m^2C52

CAPÍTULO 5

Fig. 5.1 – Resultados em regime dinâmico do caso prático no Porto.....54

Fig. 5.2 – Resultados em regime dinâmico do caso prático em Bragança.55

ÍNDICE DE QUADROS

CAPÍTULO 2

Quadro 2.1 – Comparação entre um sistema natural e um sistema mecânico. [5].....	1
Quadro 2.2 – Produção de vapor de água de várias actividades. [8]	12
Quadro 2.3 – Produção de vapor de água de indivíduos desempenhando várias actividades. [9].....	14
Quadro 2.4 – Classificação dos edifícios em função da sua higrometria. [2]	13

CAPÍTULO 3

Quadro 3.1 – Quadro tipo de resultados do modelo em regime permanente.	19
---	----

CAPÍTULO 4

Quadro 4.1 – Resultados da análise em regime permanente numa parede dupla $U=0,65\text{W/m}^2\text{°C}$ no Porto	33
Quadro 4.2 – Resultados da análise em regime permanente numa parede simples $U=2,0\text{W/m}^2\text{°C}$ no Porto	33
Quadro 4.3 – Resultados da análise em regime permanente numa parede de pedra, vidro duplo ou pilar $U=3,0\text{W/m}^2\text{°C}$ no Porto.....	34
Quadro 4.4 – Resultados da análise em regime permanente num vidro simples ou caixilho em perfil de alumínio $U=5,0\text{W/m}^2\text{°C}$ no Porto.....	34
Quadro 4.5 – Porto - parede com $U=2,0\text{ W/m}^2\text{°C}$	37
Quadro 4.6 – Porto - parede com $U=3,0\text{ W/m}^2\text{°C}$	40
Quadro 4.7 – Beja - parede $U=0,65\text{ W/m}^2\text{°C}$	44
Quadro 4.8 – Porto - parede com $U=2\text{ W/m}^2\text{°C}$	46
Quadro 4.9 – Bragança - parede com $U=3\text{ W/m}^2\text{°C}$	47
Quadro 4.10 – Médias dos dados horários em Outubro	47

CAPÍTULO 5

Quadro 5.1 – Resultados em regime permanente do caso prático no Porto.....	54
Quadro 5.2 – Média mensal dos resultados em regime dinâmico do caso prático no Porto.....	54
Quadro 5.3 – Resultados em regime permanente do caso prático em Bragança.....	55
Quadro 5.4 – Média mensal dos resultados em regime dinâmico do caso prático em Bragança.....	56

1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo é feito um enquadramento do tema da pesquisa, expondo o estado actual a partir do qual se desenvolve estudo objecto deste trabalho (secção 1.1.). São também apresentados os objectivos do trabalho (secção 2.2.) e a estrutura segundo o qual o mesmo foi organizado (secção 1.3.).

1.1. ENQUADRAMENTO

O conceito de bom funcionamento de um edifício tem estado em constante mutação desde a última metade do século passado. Temos vindo a assistir à atribuição de diferentes pesos às diversas áreas que dizem respeito à concepção de um edifício.

A preocupação com o bom funcionamento térmico dos edifícios tem vindo a tornar-se cada vez mais importante com a publicação, em 1991 do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), posteriormente em 1998 do RSECE (Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios) e em 2006 uma actualização do RCCTE.

Estes documentos regulam, em fase de projecto, todos os parâmetros que influenciam a higratérmica de edifícios. O RCCTE publicado em 2006 estabelece as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que as exigências de Conforto térmico e de Ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia. Este regulamento também procura que sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

Um dos problemas mais comuns, no que diz respeito a Higratérmica de edifícios, são as condensações superficiais interiores, “*A condensação pode ser descrita como a doença moderna dos edifícios*” – Luís Viegas Mendonça [1]. A condensação superficial é um fenómeno muito comum no dia-a-dia de milhares de fogos podendo estar presentes em inúmeras e variadíssimas situações. Temos como exemplo mais vulgar e mais ilustrativo a condensação nas paredes de uma casa de banho no final dum banho ou nas paredes de uma cozinha perto de uma panela com água a ferver ou ainda no pano exterior de uma janela. Algumas destas situações são facilmente visíveis porque os materiais de deposição da condensação são impermeáveis, ou são fenómenos que ocorrem esporadicamente por produção de vapor de água fora do normal por um período de tempo curto.

Porém são também recorrentes casos em a controlo deste fenómeno é complicado porque ocorre devido a más escolhas de soluções construtivas que resultem em: pontes térmicas, em edifícios demasiado estanques ao ar dificultando a sua ventilação ou até envolventes com isolamento insuficiente.

A dificuldade de eliminar este fenómeno passa pela substituição de elementos construtivos ou dispositivos de ventilação, que constituem intervenções dispendiosas e morosas, pela influência de múltiplos factores e pelo facto de não existirem critérios objectivos de projecto que controlem estes factores evitando futuras patologias.

Por este motivo, torna-se importante estudar o risco de condensações superficiais interiores associado a todos os factores que influenciem este fenómeno. Neste presente trabalho é proposto estudar a influência de alguns destes factores no fenómeno das condensações superficiais interiores.

1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO

O objectivo desta pesquisa é tentar perceber o risco de condensação superficial em superfícies interiores associado à variação de parâmetros que directa ou indirectamente influenciam este fenómeno. Para este efeito foram definidos os seguintes parâmetros:

- A composição do elemento construtivo
- Clima exterior
- Orientação do elemento construtivo
- Temperatura interior
- Produção de vapor de água no interior
- Nível de ventilação no interior

A variabilidade de cada um destes parâmetros e a dificuldade de cruzar tantas variáveis obriga a que este estudo seja assente em modelos de cálculo recorrendo a ferramentas capazes de produzir resultados que permitam uma interpretação simples da influência de cada uma das variáveis. Assim, recorreu-se à simulação de inúmeras situações através de dois modelos de cálculo:

- um modelo em regime permanente
- um modelo em regime dinâmico.

A decisão de desenvolver a análise com dois modelos e em dois regimes diferentes teve como principal objectivo tentar definir a capacidade de cada uma das abordagens em simular o fenómeno da condensação. Pretende-se, também, verificar para que nível de exigência poderão ser uma ferramenta útil. Os erros ou aproximações associados à obtenção dos dados usados neste estudo assim como a quantidade de variáveis tidas em conta em cada um dos modelos, irão ditar o maior ou menor rigor dos resultados obtidos pelos modelos usados.

Uma escolha acertada da forma de apresentação dos resultados é o primeiro passo para uma boa interpretação destes e, conseqüentemente, para uma boa conclusão sobre o estudo. Foi constante, durante toda a pesquisa, a preocupação de apresentar resultados que permitissem não só chegar a conclusões baseadas em análises qualitativas sobre a influência de cada parâmetro, mas que

permitissem também definir os limites para os quais estes parâmetros representassem situações associadas a um risco mínimo de condensações

Após a análise dos dois modelos propostos, foi feita a aplicação destes a um caso particular. Pretendeu-se com este estudo final, de aplicação prática dos dois modelos, validar as afirmações/conclusões produzidas durante a análise feita e que constitui o objectivo principal deste trabalho.

1.3. ESTRUTURAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho foi estruturado em cinco capítulos.

No capítulo 2 é apresentado o fenómeno da condensação superficial, e identificam-se os parâmetros que o influenciam e que farão parte da análise deste trabalho.

No capítulo 3 é feita uma descrição do modelo simplificado em regime permanente e do modelo avançado em regime dinâmico desenvolvidos e utilizados durante a pesquisa e apresentadas as bases de trabalho usadas bem como uma breve nota sobre o programa utilizado em regime dinâmico.

No capítulo 4 apresentam-se os resultados das simulações e são feitas análises críticas e comparações entre estes valores.

No capítulo 5 é feita uma aplicação dos dois modelos a um caso prático, são reunidas as principais conclusões a tirar deste trabalho e são feitas propostas para um desenvolvimento futuro deste tema.

Para terminar, são apresentados, em anexo, todos os documentos que resultaram desta pesquisa para evitar tornar o texto principal muito denso.

2

CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS INTERIORES

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste capítulo é feita uma síntese do conhecimento a que tive acesso sobre o tema proposto. Procurou-se, assim, definir de forma clara e explícita todas as relações dos parâmetros que foram estudados durante toda a pesquisa.

A ocorrência de condensações dá origem ao aparecimento não programado de água nos elementos construtivos, podendo resultar no desenvolvimento de diversas formas de degradação de gravidade variável. A ocorrência de condensações em elementos construtivos é um fenómeno que depende da sua constituição, das condições climáticas existentes e dos mecanismos de comportamento do ar húmido. Sempre que, em determinadas condições, o ar contacta com superfícies mais frias e a sua humidade absoluta atinge o limite de saturação para a temperatura em causa, ocorrerão condensações.

O comportamento do ar húmido depende da temperatura e da quantidade de vapor de água que contenha, designada por humidade absoluta – U – podendo ser expressa em g/m³ ou kg/kg. Este vapor de água, existente por unidade de volume ou de massa de ar, exerce uma determinada pressão, que se designa por pressão parcial – Pp – (expressa em Pa), que será tanto maior quanto mais vapor de água existir. Mas a quantidade de vapor de água que uma unidade de ar pode conter é finita, o que significa que acima desse valor o ar já não tem mais capacidade para absorver vapor de água, condensando as quantidades em excesso. A este valor limite da humidade absoluta atribui-se a designação de limite de saturação – Ws – ao qual corresponde uma pressão limite designada por pressão de saturação – Ps . O conceito de humidade relativa – Hr – apenas traduz a relação percentual entre a quantidade de vapor de água que existe por unidade de ar e o respectivo limite de saturação, ou a relação equivalente entre a pressão parcial e a pressão de saturação [2].

$$Hr = \frac{Ha}{Ws} \times 100 = \frac{Pp}{Ps} \times 100 \quad (2.1)$$

A questão é, contudo, um pouco mais complicada na medida em que o limite de saturação (e a respectiva pressão de saturação) não é constante, variando com a temperatura. É assim que se explica que o ar aumenta de humidade relativa quando arrefece (já que diminui o limite de saturação), e diminui a humidade relativa quando aquece, em qualquer dos casos mantendo-se constante a humidade absoluta. Nestas condições, sempre que o ar contacta com zonas mais frias dos elementos de construção, o valor da humidade absoluta pode ultrapassar o limite de saturação, ocorrendo condensações.

As relações existentes entre as humidades absoluta e relativa e a temperatura do ar podem ser expressas através de um diagrama específico, designado por diagrama psicrométrico, como o exemplo da Figura 2.1.

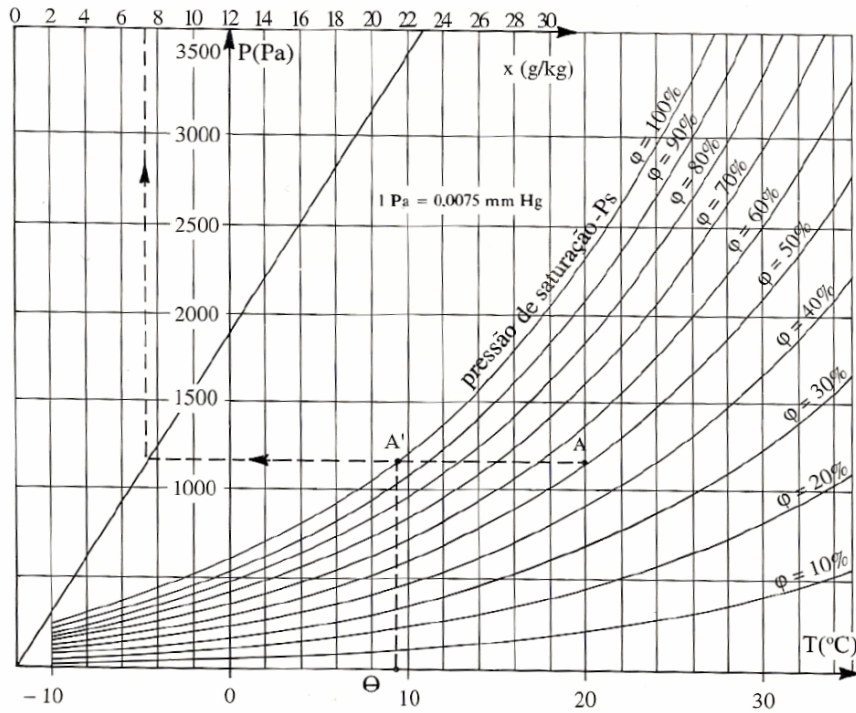


Fig. 2.1 – Diagrama psicrométrico. [2]

Este diagrama permite entender mais facilmente os conceitos referidos, apresentando em abcissas os valores da temperatura do ar (em °C), em ordenadas os valores da humidade absoluta (em g/m³) e da pressão de saturação (em Pa) e um conjunto de curvas de humidade relativa (em %). As linhas horizontais representam pontos com igual humidade absoluta e as verticais, pontos com igual temperatura; cada uma das curvas do diagrama é constituída por pontos de igual humidade relativa.

A figura 2.2 ilustra graficamente a influência do isolamento e da humidade relativa no risco de condensações. A escolha por um maior isolamento leva a uma menor diferença de temperatura entre a superfície e a temperatura do ar interior – figura 2.2 (de A para B), e conseqüentemente uma diminuição do risco de condensações. Uma humidade relativa mais baixa levará, também, a um menor risco de condensação superficial interior – figura 2.2 (de A para A₁ e de B para B₁).

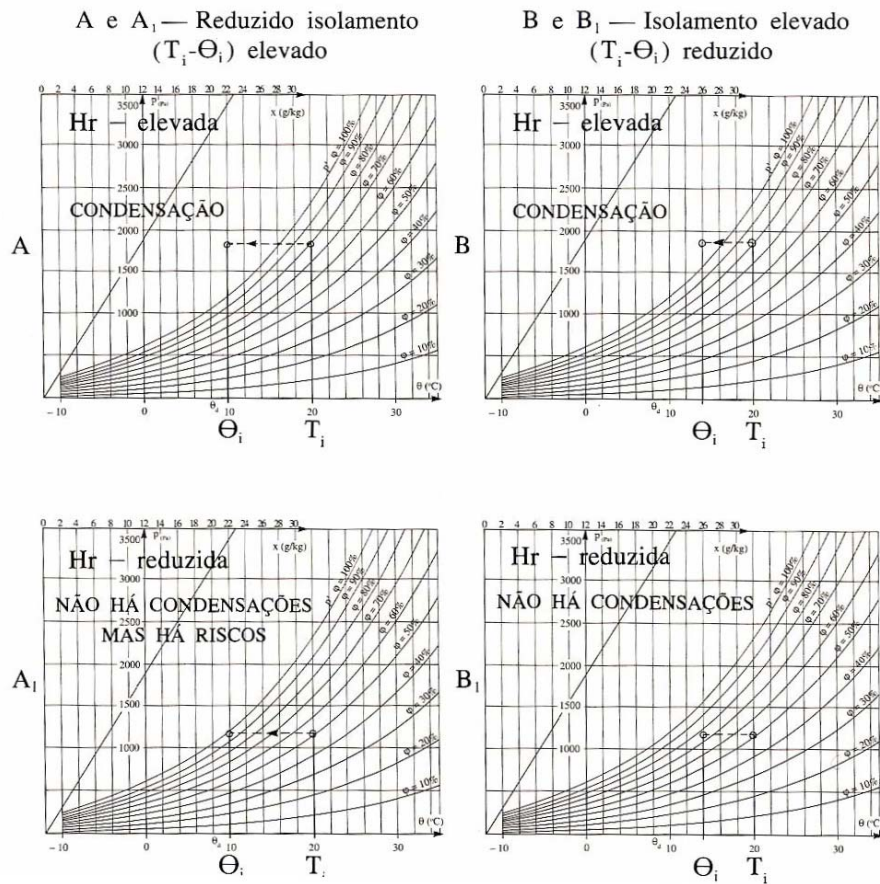


Fig. 2.2 – Esquemas representativos de diferentes situações.[13]

2.2. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM AS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

2.2.1. HUMIDADE RELATIVA

A variação da humidade relativa do ar interior, ao longo do tempo, num determinado espaço dentro de um edifício depende da humidade absoluta e temperatura interiores. Por sua vez a humidade absoluta depende essencialmente dos seguintes factores:

- Produção de vapor pelos utilizadores e suas actividades;
- Ventilação;
- Humidade absoluta exterior;
- Trocas de vapor com elementos interiores;

Assim, torna-se claro a complexidade que reveste o estudo deste parâmetro.[3]

Contudo, o estudo e o controlo da humidade relativa permitirão a prevenção de problemas afectos a diversos e importantes campos como o conforto térmico, a percepção da qualidade do ar ou a saúde dos utilizadores ou a degradação de materiais e elementos construtivos.

O desenvolvimento de fungos nos elementos construtivos é a patologia que mais facilmente indica que a humidade relativa do ar é demasiado elevada ou uma temperatura superficial mais baixa. As superfícies dos elementos onde os fungos se desenvolvem ficam danificadas, afectando visualmente a imagem do compartimento em questão que conseqüentemente provocará um desconforto aos seus utilizadores.

A humidade relativa interior pode afectar a saúde dos utilizadores dos edifícios, uma vez mais, através do desenvolvimento de fungos em espaços interiores. Estes riscos incluem doenças como micoses, micotoxicoses e alergias [4]. Apenas como exemplo apresenta-se o quadro que relaciona o tipo de microorganismos existentes no interior diversos edifícios e os problemas que podem causar [3] [12] [13].

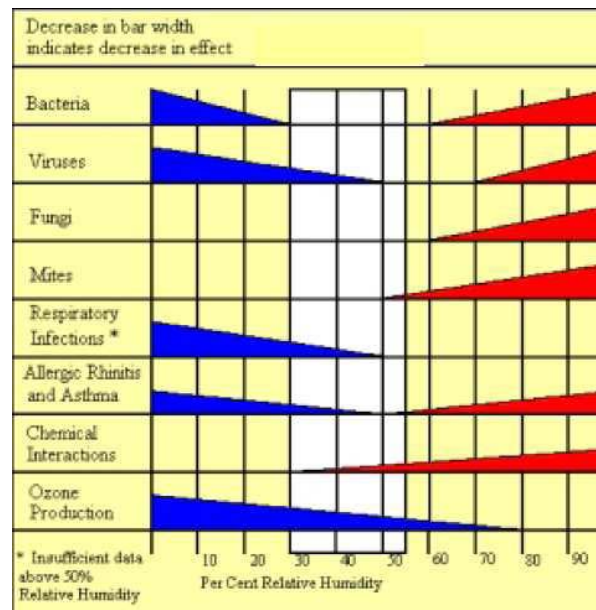


Fig. 2.3 – O efeito da humidade relativa em vários parâmetros relacionados com a saúde e qualidade do ar. [3]

Assim, o valor da humidade relativa ideal deveria situar-se entre 30% e 55%, não só por serem valores baixos que resultaram num baixo risco de condensações mas também por constituírem condições de baixo potencial para o desenvolvimento de microorganismos prejudiciais à saúde dos edifícios e seus utilizadores

2.2.2. TEMPERATURA INTERIOR

A temperatura interior de um edifício é dependente de factores como:

- Produção de calor pelos utilizadores e suas actividades;
- Produção de calor pelos sistemas de aquecimento;
- Ventilação;
- Nível de desempenho térmico da envolvente;
- Temperatura exterior;
- Ganhos solares.

Experimenta portanto valores diferentes ao longo do dia, exceptuando quando existem sistemas de controlo desta.

Factores como a actividade desenvolvida dentro do edifício, o comportamento térmico da envolvente, a temperatura exterior e o contacto com o ar exterior ou ganhos solares são determinantes para a temperatura interior. Quando este parâmetro não é controlado apresenta uma variação ao longo do dia que acompanha, ainda que com alguma diferença temporal, o que se passa no exterior da envolvente.

O controlo e limitação da temperatura interior passa pela intenção do utilizador de procurar uma situação de maior conforto. Esta noção de conforto resulta da percepção do utilizador que pode ser bem ilustrada e definida através de intervalos de valores de temperatura interior e humidade relativa interior como mostra a figura 2.4 [7].

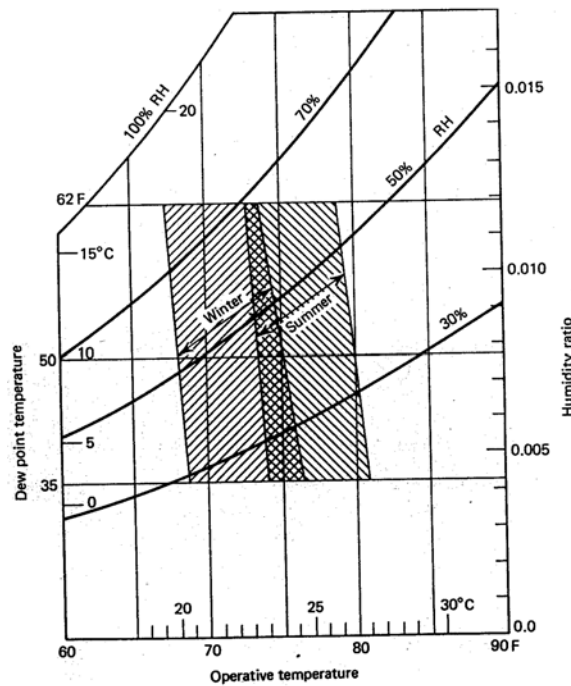


Fig. 2.4 – Intervalo de conforto higrotérmico para o inverno e o verão. [7]

Já a energia para se alcançar o pretendido passa não só pelas características dos equipamentos usados bem como o maior ou menos isolamento da envolvente e o diferencial entre a temperatura exterior e a temperatura interior desejada.

Este gasto de energia foi um dos motivos para uma mudança na construção que passou a desenvolver soluções onde os coeficientes de transmissão térmica da envolvente são menores, a estanquidade dos edifícios aumentou bem como a preocupação de aproveitar os ganhos solares. Enquanto se resolveram problemas de conforto e consumo de energia criaram-se problemas de ventilação reduzida devido à maior estanquidade dos edifícios.

Quando a solução da envolvente traduz um coeficiente de transmissão térmica alto, e existem mecanismos para elevar a temperatura interior, se a humidade relativa interior for também elevada, o risco de condensações superficiais na envolvente é muito elevado visto a temperatura superficial dos elementos ser baixa.

2.2.3. VENTILAÇÃO

A renovação de ar é, muitas vezes, uma boa forma de reduzir a quantidade de humidade contida no ar de um ambiente interior. A renovação e circulação de ar no interior permitem a mistura de massas de ar equilibrando a sua constituição promovendo nomeadamente uma humidade relativa uniforme. Desta forma, se o ar que entra num dado espaço tiver uma humidade absoluta menor, quando estiver em equilíbrio térmico com o ar já existente haverá um valor menor de humidade relativa final da mistura.

Contudo, tornou-se necessário e indispensável o controlo da ventilação por meio de regulamentos de forma a satisfazer todas as exigências relacionadas com este parâmetro como:

- A humidade relativa do ar – este parâmetro interfere com o aparecimento e desenvolvimento de microorganismos prejudiciais quer à saúde dos utilizadores quer à saúde de alguns materiais encontrados dentro dos edifícios. A figura 2.5 apresenta um gráfico que traduz uma relação entre a humidade relativa interior e o nível de ventilação, importa referir que apenas a curva de cima é encontrado no panorama português [6];

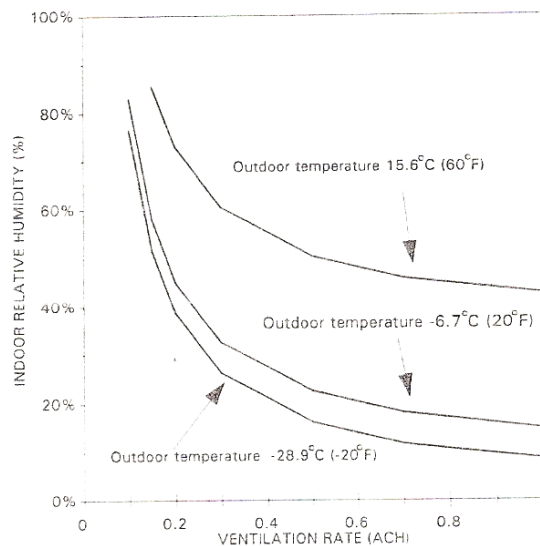


Fig. 2.5 – Relação entre ventilação e humidade relativa interior (com temperatura interior de 21°C, humidade relativa exterior de 50%, produção de vapor de 360g/h, numa área 111m²). [6]

- A velocidade de circulação do ar – este parâmetro é regulamentado tendo em vista, uma vez mais, o conforto do utente. Os máximos e mínimos regulamentares dos níveis de ventilação apontam valores de 0,6 rph (renovações por hora) e 1,2 rph, respectivamente.

A ventilação de um espaço pode ser natural, mecânica ou mista. A escolha entre estas soluções passa não só por uma comparação de eficiência mas também da comparação da energia gasta. À partida a opção por uma ventilação natural será mais eficiente em termos de custos durante a vida útil do edifício, porém, um sistema de ventilação natural bem conseguido terá de ser uma preocupação na concepção do edifício o que por vezes é esquecido ou negligenciado a favor de soluções arquitectónicas, às vezes arrojadas, que impossibilitam uma boa circulação do ar.

Seguidamente são listadas as vantagens e desvantagens entre ventilação natural e ventilação mecânica, onde se procurou uma comparação mais objectiva entre as duas soluções [5]:

Quadro 2.1 – Comparação entre um sistema natural e um sistema mecânico. [5]

NATURAL	MECÂNICA
+ CUSTO	+ ESTABILIDADE E CONTROLO
+ RUÍDO	+ PERMITE RENOVAÇÃO CONTROLADA E FILTRAGEM
+ ACEITAÇÃO	- CUSTO
- NÃO ASSEGURA SEMPRE QUALIDADE DO AR INTERIOR	- ENERGIA VENTILADORES
- NÃO PERMITE RENOVAÇÃO CONTROLADA	- NECESSIDADE DE MANUTENÇÃO PERIÓDICA
- “VOLÁTIL”	
- EXIGENTE PARA O PROJECTO	

Depois de se perceber a problemática da escolha acertada do sistema de ventilação para incorporação num edifício importa referir algumas noções de ventilação.

2.2.3.1. Noções de ventilação

Em qualquer tipo de ventilação, mecânica ou natural, o princípio de funcionamento consiste em fazer escoar o ar dos compartimentos principais – quartos, salas – para os compartimentos secundários ditos húmidos – casa de banho, wc, cozinha ou lavandaria, como exemplificado na figura 2.6.

A ventilação das habitações deve ser geral e permanente, para o bom desempenho da ventilação natural há que prever aberturas através da envolvente do edifício, através dos limites internos dos espaços, funcionando em permanência, de obstrução não admissível, providas de dispositivos de regulação e não podem ser completamente fechadas.

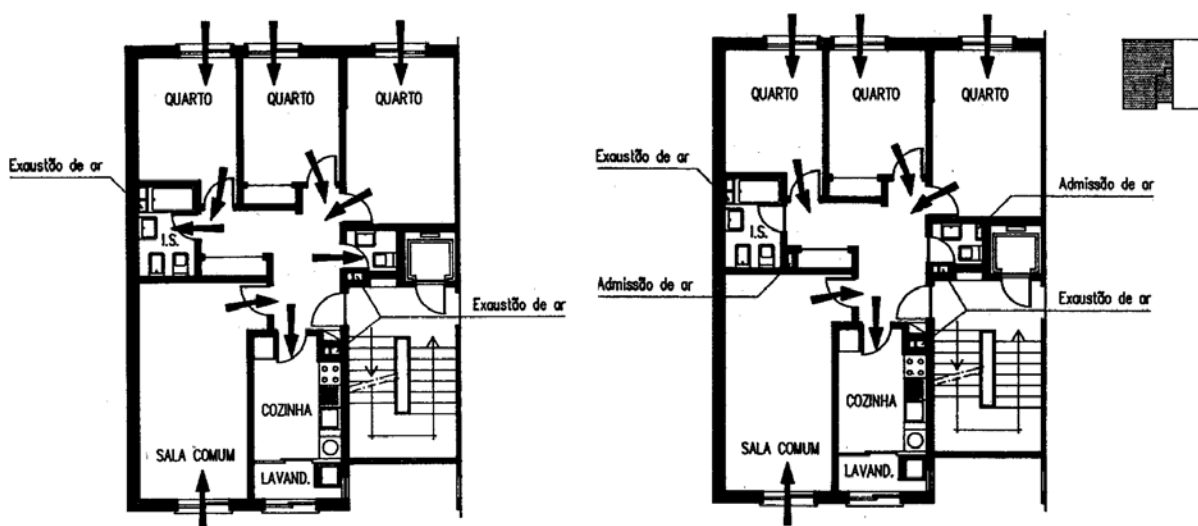


Fig. 2.6 – Esquemas de ventilação dentro de um apartamento. [7]

Para além do que foi esquematizado na figura 2.6, há regras que devem ser respeitadas como [7]:

Habitacões - Situação de Inverno:

– Caudal de ar em circulação: uma renovação por hora do ar dos compartimentos principais e não menos do que quatro renovação por hora do ar dos compartimentos de serviço, quando estes não estão a ser utilizados é aceitável a redução para metade.

– Nas cozinhas, o caudal de ar não pode ser inferior ao necessário para o bom funcionamento dos aparelhos do tipo B (Aparelhos a gás do tipo B são aparelhos requerem condições específicas para funcionarem em segurança).

Habitacões - Situação de Verão:

– Os compartimentos principais são arejados por janelas que deverão possuir vãos praticados nas paredes em comunicação directa com o exterior.

– As cozinhas devem possuir condutas de exaustão dos produtos da combustão ou vãos em comunicação directa com o exterior.

– As instalações sanitárias deverão possuir vãos em contacto directo com o exterior ou condutas de exaustão.

– Os vãos da mesma habitaco deverão ser localizados em fachadas de orientação diferente.

– A disposição dos compartimentos e a orientação das aberturas para o exterior devem estar coordenadas com a direcção do vento predominante.

2.2.4. PRODUÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA

A produção de vapor de água numa habitaco experimenta, ao longo do día, diversos valores. Pode-se encontrar o valor de 8kg/día para uma família de duas pessoas aumentando para 12kg/día quando considerada a contribuição de uma criança ao núcleo familiar, concluindo-se assim a média de 4 kg/día por pessoa independentemente do seu tamanho. Este valor tem uma forte dependência do tipo de actividade desenvolvida na habitaco, quadro 2.2 [7] [8] [9].

Quadro 2.2 – Produção de vapor de água de várias actividades. [8]

Actividade	Vapor de água (g/día)
Cozinhar a electricidade	2000
Cozinhar a gás	3000
Lavar loiça	400
Banho (por pessoa)	200
Lavar roupa	500
Secar roupa (por pessoa)	1500

A actividade desenvolvida por cada indivíduo influencia a produção de vapor de água como identificado no quadro 2.3. [8] [9]

Quadro 2.3 – Produção de vapor de água de indivíduos desempenhando várias actividades. [9]

Actividade dos indivíduos	Tipo de edifício	Temperatura do local (°C)				
		28 Produção de vapor (g/h)	27 Produção de vapor (g/h)	26 Produção de vapor (g/h)	24 Produção de vapor (g/h)	21 Produção de vapor (g/h)
Sentado	Teatro, escola primária	65	60	58	45	36
Sentado	Escola secundária	80	75	70	60	50
Trabalhar	Escritório, hotel, loja	100	95	90	80	60
Trabalhar	Drogaria, banco	120	115	105	95	80
Trabalhar	Restaurante	135	125	115	100	90
Dançar	Estúdio	240	225	215	200	170
Correr (5km/h)	Ginásio	280	265	250	230	200
Exercício	Ginásio (trabalho pesado)	375	370	360	350	320

A imprevisibilidade do comportamento humano aumenta a dificuldade da quantificação de humidade dentro de um edifício ao longo do dia. Por este motivo necessário recorrer a valores nominais em regulamentos para ganhos com esta fonte serem considerados correctamente no projecto e estudo do sistema de ventilação e controlo da temperatura e humidade de cada compartimento.

A higrometria de cada edifício é um importante parâmetro neste estudo, que é definido pela fórmula 2.2 relacionando a produção de vapor – ω – com as renovações horárias – n – e o volume – V – do espaço em questão. O resultado desta relação denomina-se por higrometria.

$$\frac{\omega}{n \times V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2.2)$$

Para este estudo vão ser considerados três valores para a higrometria interior – 2, 4 e 6 x10⁻³kg/m³ – que resultam da conjugação de níveis de ventilação do ar interior e produção de vapor de água diferentes. É importante perceber-se que tipo de edifícios podem ter este tipo de higrometria e para tal é apresentado o quadro 2.4 com diferentes classificações conforme a sua higrometria.[2]

Quadro 2.4 – Classificação dos edifícios em função da sua higrometria. [2]

CLASSE	HIGROMETRIA	TIPO DE EDIFÍCIOS
I – Fraca higrometria	$\frac{\omega}{n \times V} \leq 2,5 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$	Escritórios, escolas, ginásios
II – Média higrometria	$2,5 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3 \leq \frac{\omega}{n \times V} \leq 5 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$	Edifícios não sobreocupados e correctamente ventilados
III – Forte higrometria	$5 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3 \leq \frac{\omega}{n \times V} \leq 7,5 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$	Edifícios de habitação com ventilação deficiente, indústrias
IV – Muito forte higrometria	$\frac{\omega}{n \times V} > 7,5 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$	Piscinas, certos locais industriais com grande produção de vapor

Os valores escolhidos para este estudo representam ambientes típicos que podem ser encontrados em escritórios, escolas, ginásios e edifícios habitacionais com taxas de ocupação e sistemas de ventilação diferentes.

2.2.5. CONDIÇÕES EXTERIORES

As condicionantes que figuram no campo das condensações superficiais são várias e a maneira como estas se relacionam e estão dependentes umas das outras aumenta a complexidade da abordagem e percepção deste universo.

Um dos pontos de partida para o estudo de casos dentro desta matéria é o tratamento dos dados das condições exteriores da zona onde a pesquisa decorre. Parte da dificuldade de chegar a resultados seguros e com aplicabilidade prática está relacionada com este parâmetro.

O primeiro problema que surge prende-se com a obtenção e medição dos valores necessários. Embora seja simples, hoje em dia, medir em tempo real a temperatura e humidade relativa do ar com aparelhos básicos e baratos, outros parâmetros como a velocidade e direcção do vento, a radiação incidente ou pluviosidade tornam esta tarefa muito mais complicada. Estando na posse de equipamentos capazes de medir todas estas variáveis, logo surgem outras questões de resolução complicada e com consequências inevitáveis no valor dos resultados como: a escolha da periodicidade dos registos desejados e do local para se instalar estes equipamentos. É o intervalo entre registos que vai ditar o maior ou menor rigor da análise desenvolvida, quanto menor for o intervalo maior rigor se obterá embora se crie um problema de manutenção dos equipamentos se este intervalo for muito reduzido visto haver uma capacidade limite na memória dos equipamentos. A escolha do local onde os equipamentos se encontram é outro ponto que requer alguma ponderação. A título de exemplo podemos supor que se desejava estudar as soluções definidas em 3 projectos de monumentos para serem implementados na cidade do Porto. O facto de haver já registos feitos nesta cidade não assegura que estes sejam representativos dos locais de implantação dos três edifícios visto ser possível uma variação significativa das condições exteriores em locais distanciados por 1 ou 2 km. Para completar, ainda se pode deixar claro que mesmo que haja registos bem conseguidos de uma determinada zona as condições exteriores são imprevisíveis e a tentativa de se fazer previsões através de aproximações baseadas em dados do passado pode não ter qualquer valor no futuro, portanto todos os estudos terão como base o pressuposto que as condições exteriores variam dentro de uma tendência conhecida.

As condições exteriores desempenham um papel fundamental na qualidade e características do ar interior. Esta influência será tanto maior quanto maior for o fluxo de ar exterior que penetra num edifício. Como é possível observar na figura 2.7, o valor da humidade relativa interior baixa se o ar que entra tiver um menor valor de humidade absoluta. Hipoteticamente, se no interior e exterior a humidade relativa tiver o mesmo valor mas houver uma diferença na temperatura, quando o ar exterior penetra dentro do edifício sendo aquecido a sua humidade relativa diminuirá e assim a mistura terá um valor mais baixo do que na situação inicial. Uma boa forma de diminuir o valor da humidade relativa do ambiente interior é o uso eficiente de vãos envidraçados permitindo a radiação solar intervir na temperatura interior de um edifício.

Neste trabalho serão tratados dois tipos de dados climáticos: em regime permanente dados médios mensais referentes a Faro, Beja, Porto, Braga, Bragança e Lisboa e dados horários em regime dinâmico referentes às últimas quatro cidades. Os primeiros são dados retirados da base de dados do programa *Solterm* [10]– programa de cálculo de painéis solares. Os segundos dados foram retirados da

base de dados do *Meteonorm* [11] – ferramenta usada para gerar dados climáticos com base em dados catalogados.

Como nota informativa, as figuras 2.9 e 2.10 procuram caracterizar o clima do país onde este estudo foi feito. A figura 2.9 mostra um mapa de temperaturas médias anuais de Portugal continental e a figura 2.10 mostra as temperaturas médias mensais dos meses de Janeiro e de Julho

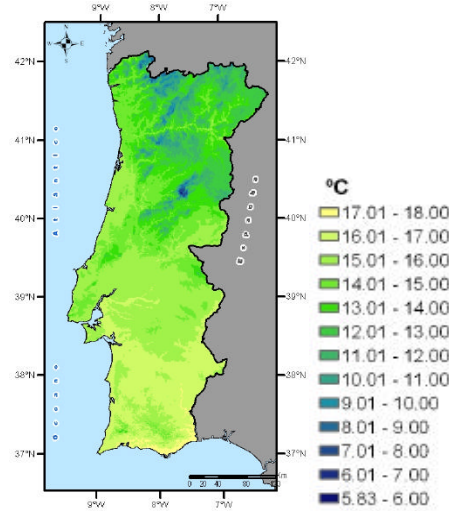


Fig. 2.7 – Mapa de temperaturas médias anuais em Portugal continental.[15]

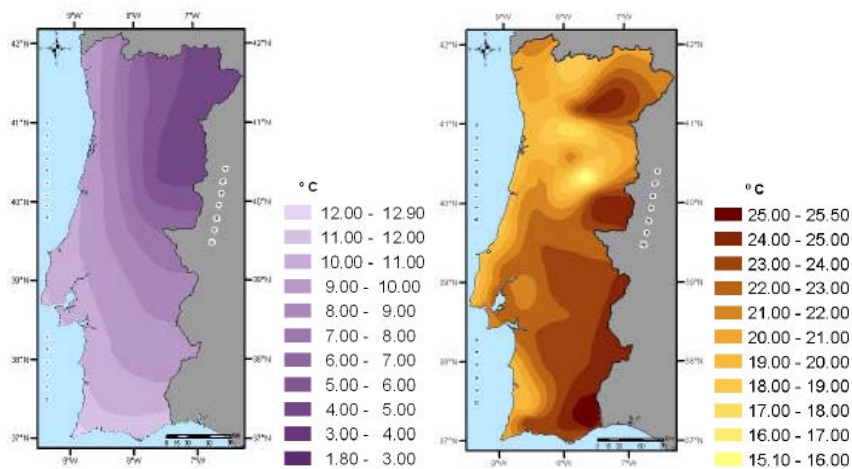


Fig. 2.8 – Mapa de temperaturas médias mensais em Portugal continental nos meses de Janeiro e Julho respectivamente. [15]

3

QUANTIFICAÇÃO DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS INTERIORES

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A problemática das condensações superficiais pode ser abordada de várias maneiras e usando ferramentas diferentes. Foi feita uma tentativa de comparar duas no decorrer da pesquisa estudando para isso o fenómeno em regime permanente e posteriormente em regime dinâmico.

Assim, este presente capítulo é dedicado à exposição e explicação da linha de pensamento levada a cabo durante as simulações feitas com vista a desenvolver o tema proposto. É também feita uma apresentação sobre os programas e bases de dados usados para atingir esse fim, inumerando por fim as dificuldades encontradas em cada fase.

Importa primeiro referir que as condições climatéricas exteriores são parâmetros determinantes nas condensações superficiais. Mas importa reforçar a ideia de que os juízos feitos sobre o comportamento futuro de um elemento construtivo, inserido num dado edifício numa dada região, só serão válidos se as condições climatéricas sentidas na vida útil do edifício se assemelharem às condições que foram usadas no estudo feito.

As condições interiores constituem outro parâmetro importante neste estudo e depois da análise de alguns resultados foi definida a regra da obrigatoriedade de haver uma temperatura interior 3° C superior à temperatura exterior existente, que será explicada e fundamentada posteriormente.

3.2. MODELO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO – REGIME PERMANENTE

O regime permanente torna o cálculo mais simples, onde o diagrama psicométrico é uma ferramenta quase suficiente para responder à pergunta fulcral deste trabalho: *Ocorrem ou não condensações?*

Usando esta ferramenta, a resposta é dada através da comparação entre dois valores de temperatura: a temperatura superficial do elemento construtivo e a temperatura do ar. Se a temperatura superficial do elemento construtivo em estudo for inferior à temperatura de *Ponto de Orvalho (Tpo)* ocorrem condensações. A *Tpo* é a temperatura limite para um determinado volume de ar com uma certa humidade absoluta para a qual o ar se encontra saturado.

Embora seja uma ferramenta muito útil e prática quando queremos encontrar situações limite cruzando e variando vários parâmetros torna-se uma tarefa muito morosa. Assim o primeiro passo foi criar uma

folha de cálculo, que neste caso foi desenvolvida em Excel, que permitisse que este estudo de sensibilidade fosse mais rápido e fácil.

A folha de cálculo foi feita de modo a cruzar todos os dados que influenciassem este fenómeno e que fossem de fácil obtenção.

Esta folha de cálculo assenta na comparação da pressão de vapor do ar interior e a pressão de vapor à superfície da envolvente e não na comparação de temperaturas como no diagrama psicométrico.

Seguidamente são apresentados todos os passos que constituem o cálculo usado.

Com os valores da temperatura exterior – T_e (°C) – e humidade relativa exterior – HR (%) – e usando a equação (3.1) calculamos a Pressão de vapor exterior (Pa) – P_e .

$$P_e = 611 \times e^{\left(\frac{a \times T_e}{\theta' + T_e}\right)} \times HR \text{ (Pa)} \quad (3.1)$$

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

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

Com o valor de P_e e da P_t (pressão atmosférica da zona) e utilizando a equação (3.2) retiramos o valor do Teor de humidade exterior (kg/kg) – U_e .

$$U_e = 0,622 \times \frac{P_e}{P_t + P_e} \text{ (kg/kg)} \quad (3.2)$$

Considerando o valor de U_e , os valores de produção de vapor (kg/h) – ω_i – das renovações horárias – n – e do volume (m³) – V_i – (que neste trabalho foi considerado igual a 250m³) conseguimos encontrar o Teor de humidade – U_i – que vem assim afectado pelas condições exteriores e interiores através da equação 3.3:

$$U_i \cong U_e + 0,825 \times \frac{\omega_i}{n \times V_i} \quad (3.3)$$

Com base na equação (3.4) é possível determinar a pressão de vapor do ar interior – P_i – em função de P_t e U_i :

$$P_i = \frac{U_i \times P_t}{0,622 + U_i} \text{ (Pa)} \quad (3.4)$$

O cálculo termina com a diferença entre este P_i e a Pressão de vapor à superfície do elemento em estudo – P_s . Em primeiro lugar é necessário calcular a temperatura superficial – T_{si} – do elemento construtivo através da equação (3.5) e com as temperaturas interiores e exteriores – T_i e T_e – o coeficiente de transmissão térmica – U – e o valor da condutância térmica superficial – $h_i=0,12$ (W/m²°C). Com o valor T_{si} , e usando (3.6), determinamos a P_s .

$$T_{si} = t_i - \frac{U}{h_i} \times (T_i - T_e) \quad (3.5)$$

$$P_s = 611 \times e^{\left(\frac{a \times T_{si}}{\theta' + T_{si}}\right)} \times HR \text{ (Pa)} \quad (3.6)$$

Ficamos então com um ΔP , equação 3.7, como resultado da folha de cálculo que indicará a ocorrência de condensações se for positivo. O facto da abordagem escolhida ser uma diferença de pressões, através da análise do intervalo de valores, podemos ficar com a sensibilidade da quantidade de

humidade que condensa, se será um fenómeno que terá muita expressão ou apenas uma pequena quantidade de água será depositada na superfície do elemento.

$$\Delta P = P_i - P_s \quad (3.7)$$

Em seguida é apresentado um quadro tipo, desta folha de cálculo, e uma explicação da estrutura da folha de cálculo:

Quadro 3.1 – Quadro tipo de resultados do modelo em regime permanente.

A		C												D		
B		E												E		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G		H												H		
F		H												H		
G																

quanto maior for um valor positivo maior será o potencial risco, pelo contrário, um valor negativo traduzirá um menor risco potencial quando este for maior em valor absoluto.

Importa ainda explicar que sempre que não haja uma diferença de pelo menos 3°C do interior para o exterior não aparecerão resultados. Esta regra foi imposta após análise crítica de algumas experiências com a folha de cálculo que apresentaram resultados absurdos de condensações em quase todas as células. Este facto pode ser compreendido através da análise de um exemplo: consideremos que temos uma temperatura exterior de 15°C e uma humidade relativa de 80% e uma temperatura interior de 13°C com uma humidade relativa de 80%. O modelo contabiliza a ventilação e o ar exterior que entra no ambiente interior toma automaticamente o valor da temperatura interior, este novo ar estará saturado ou perto disso devido à diminuição de temperatura verifica-se um aumento de humidade relativa, ou seja, terá uma humidade relativa de 100%. Se o teor de humidade do ar for superior ao teor de saturação (equivalente a uma humidade relativa de 100%), à temperatura interior, há sempre condensações por excesso de água.

3.3. MODELO DE CÁLCULO EM REGIME DINÂMICO

Como a natureza do cálculo é bastante diferente e complexa foi necessário recorrer a um programa que trata-se todos estes dados e que nos desse a pressão de vapor à superfície contando agora também com o contributo de outros parâmetros com relevâncias diferentes para o cálculo – o programa escolhido foi o *Wufi® Pro 4.2 IBP*.

Estes parâmetros, tratados através deste programa, são listados da seguinte maneira:

- TA - Temperatura do ar exterior em °C;
- RH - Humidade relativa do ar exterior em %;
- G-Gh - Radiação solar global horizontal em W/m²;
- G-DH - Radiação solar difusa horizontal em W/m²;
- CG-lin- Radiação de onda longa atmosférica em W/m²;
- FF - Velocidade do vento em m/s;
- DD - Direcção do vento;
- RR - Pluviosidade em l/m²h;
- N - Índice de cobertura das nuvens;
- P - Pressão atmosférica.

Antes de qualquer conclusão foi preciso perceber o funcionamento e estrutura do programa.

O *Wufi® Pro 4.2 IBP* inicia-se com a apresentação de um ecrã principal (figura 3.1) no qual é possível aceder aos diversos menus que permitem a todas as opções disponíveis e necessárias para a formulação de uma simulação.

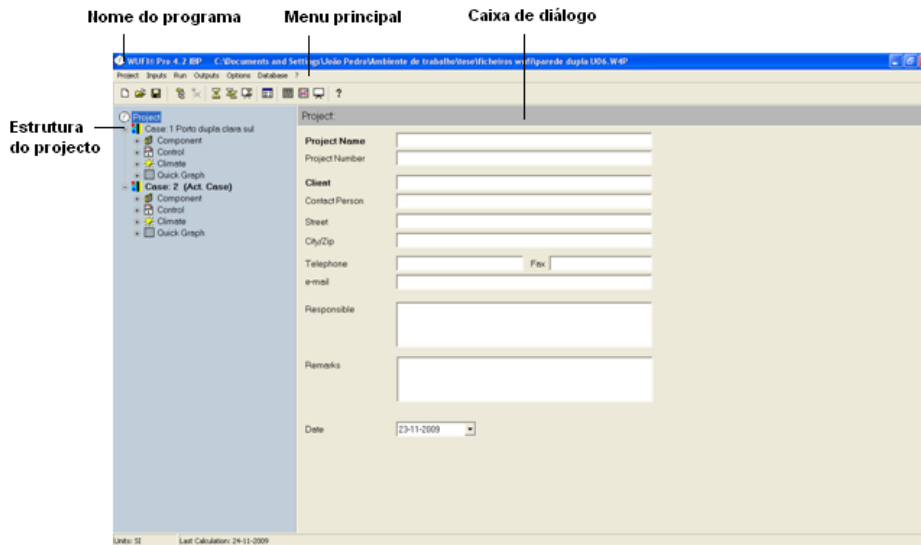


Fig. 3.1 – Ecrã principal Wufi Pro 4.2. [14]

Neste ecrã principal podemos distinguir os seguintes elementos:

- Barra com o nome do programa;
- Menu principal;
- Caixas de diálogo;
- Esquema da estrutura do projecto.

No menu principal temos sete opções disponíveis (figura 3.2):

- Project: iniciar um projecto ou abrir um projecto já existente e guardar o trabalho executado;
- Inputs: criar e/ou alterar a geometria dos elementos de construção, introduzir os materiais intervenientes e as condições de fronteira e introduzir outros elementos adicionais;
- Run: execução do cálculo;
- Output: exportação dos resultados sob a forma de ficheiros com extensão .asc;
- Options: outras opções do programa;
- Database: aceder à lista de materiais e à lista de soluções construtivas;
- ?: manual de utilização e assistente de ajuda.



Fig. 3.2 – Opções do menu principal. [14]

Quando o programa é aberto a primeira caixa de diálogo que é apresentada é a de informações do projecto como mostra a figura 3.3.

Fig. 3.3 – Caixa informação sobre o projecto. [14]

Ao lado esquerdo da caixa de diálogo aparece um esquema da estrutura do projecto onde podem ser definidos vários casos e dentro de cada caso encontram-se quatro fases (figura 3.4).

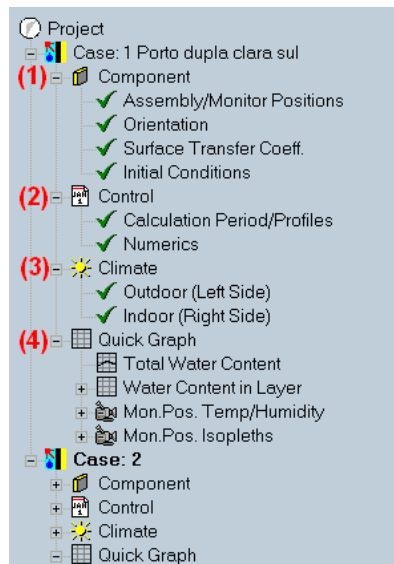


Fig. 3.4 – Esquema da estrutura do projecto. [14]

A pasta assinalada com (1) – “Component” – diz respeito à definição das características e condições do elemento em estudo e são apresentados quatro caixas de diálogo (figura 3.5).

Em (a) é definida a estrutura e materiais do elemento construtivo, a caixa de diálogo que apresenta a lista de materiais está ilustrada na figura 3.6. Em (b) é escolhida a orientação que o elemento terá assim como a sua inclinação e a altura a que se encontra. Em (c) são definidos os coeficientes de transferência de superfície – indicam em que medida as condições do ambiente, exterior e interior, afectam o elemento de construção, especialmente os fluxos de calor e humidade através das suas superfícies Por último em (d) define-se a temperatura e humidade que cada camada constituinte apresenta no início do estudo.

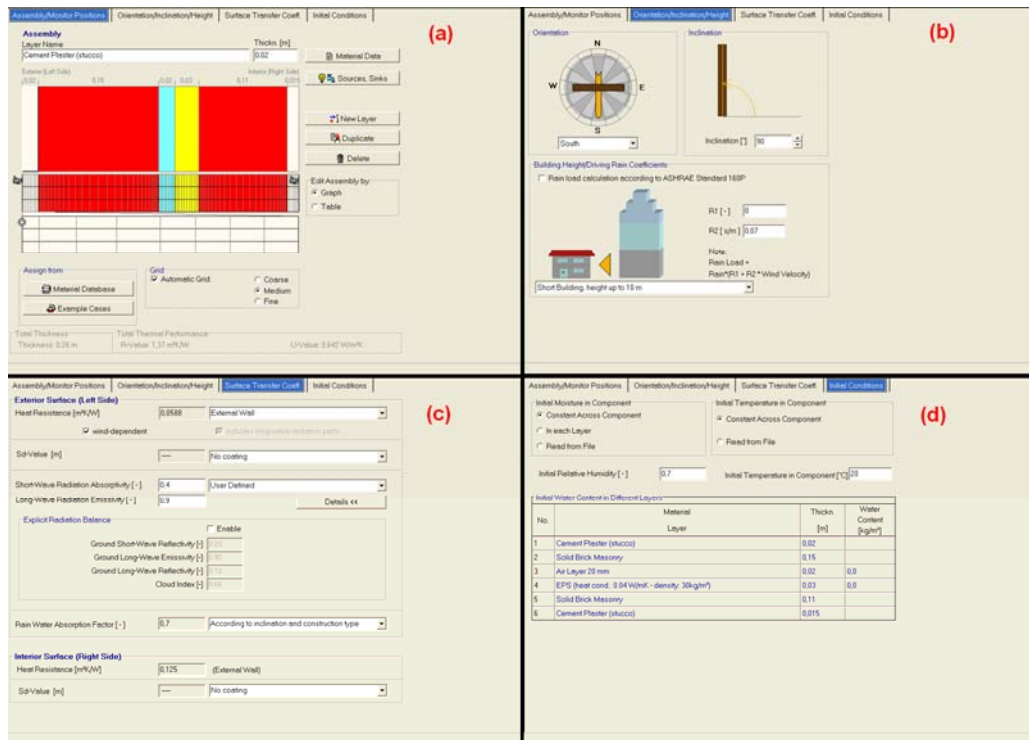


Fig. 3.5 – Caixas de diálogo na pasta “Component” (1). [14]

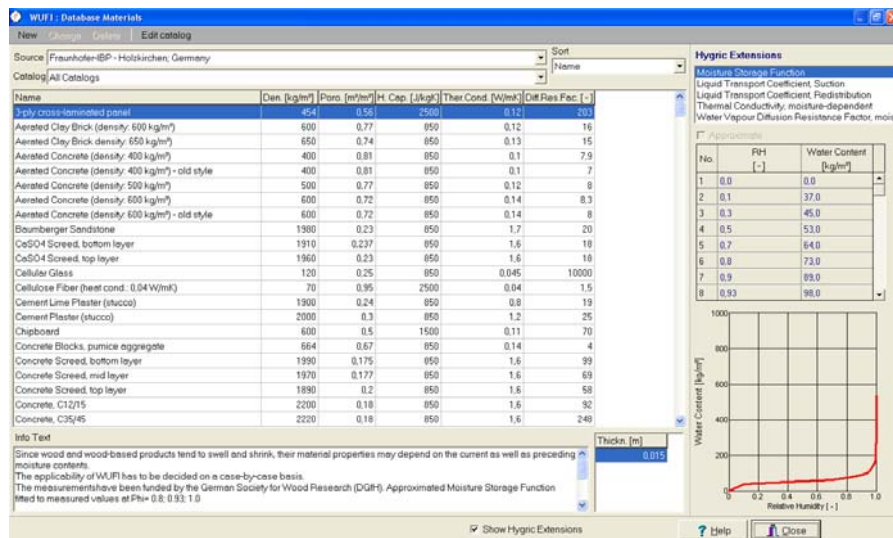


Fig. 3.6 – Caixas “Lista de materiais”. [14]

A pasta assinalada com (2) – “Control” – diz respeito à definição do período em que decorre a simulação – (a) da figura 3.7 – e ao modo de cálculo – (b) da figura 3.7.

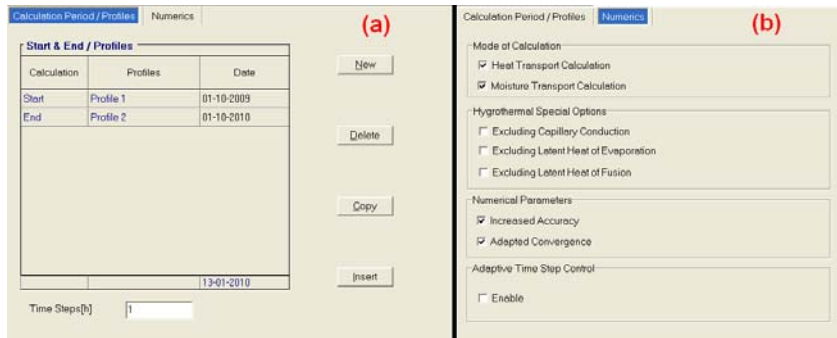


Fig. 3.7 – Caixas de diálogo na pasta “Control”. [14]

Em (3) – “Climate” – aparecem as caixas de diálogo – figura 3.8 – que dizem respeito às condições do clima exterior (a) e do clima interior (b).

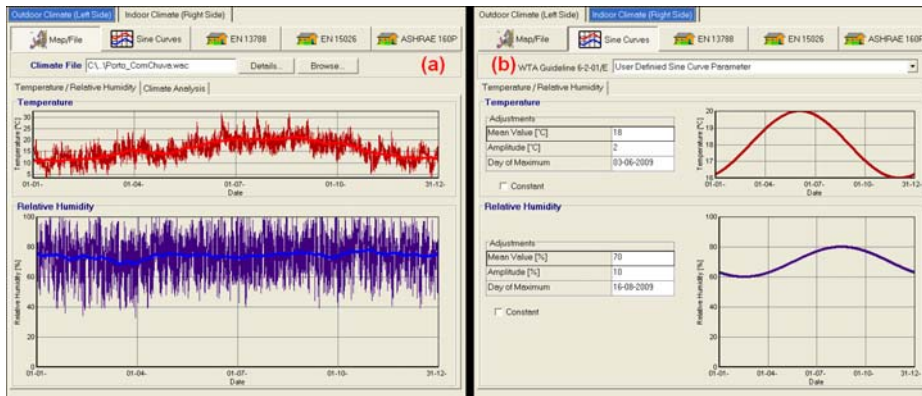


Fig. 3.8 – Caixas de diálogo na pasta “Climate”. [14]

Finalmente em (4) – “Quick Graf” – são apresentados gráficos que mostram a evolução da quantidade de água encontrada no elemento, e em cada uma das camadas constituintes. A figura 3.9 é um exemplo de um gráfico que mostra a variação da quantidade total de água contida numa parede em função do tempo.

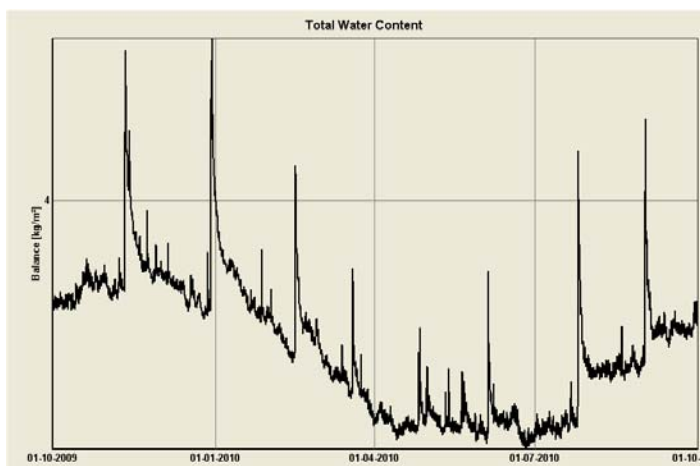


Fig. 3.9 – Gráfico da variação total da água numa parede em função do tempo. [14]

Feita uma abordagem resumida do programa usado, importa agora referir que antes de serem escolhidas as variáveis com interesse para o presente estudo, fizeram-se cálculos para perceber a influência de alguns parâmetros disponíveis sobre os locais estudados. Concluiu-se que para o valor da pressão de vapor à superfície, valor pretendido para o estudo, parâmetros como o índice de cobertura das nuvens ou a cor da camada de revestimento exterior apresentam influências residuais que não produzem alterações significativas.

Em regime dinâmico, na primeira fase do cálculo utilizando o programa de cálculo Wufi, não é tão fácil estudar um elemento que não constituído pelos materiais da base de dados de materiais disponibilizada pelo programa. No entanto, é possível acrescentar à base de dados inicial outros materiais. A definição de um novo material exige o conhecimento de vários parâmetros de caracterização do material como seja: *Bulk Density* – densidade aparente do material, *Porosity* – porosidade do material, *Specific Heat capacity, dry* – calor específico do material a seco, *Thermal conductivity, dry* – condutibilidade térmica do material a seco, *Water vapour diffusion resistance* – resistência à difusão de vapor de água.

Um ponto que poderia ser melhorado prende-se com a definição das condições interiores. No programa a temperatura interior e a humidade relativa interior são definidas através de um valor médio, uma amplitude e a data do ano para o valor máximo numa variação sinusoidal, como é possível ver na figura 3.8 (b). Desta maneira, se for objectivo estudar diferentes períodos com temperaturas interiores e humidades relativas escolhidas pelo utilizador será necessário definir cada par de valores de temperatura e humidade relativa como valores médios e amplitudes nulas e repetir a operação as vezes necessárias para se atingir os objectivos iniciais. Se fosse possível definir as condições interiores através de um ficheiro como na definição das condições exteriores seria uma mais valia para o programa.

Após o tratamento dos dados horários no Wufi foram exportados os valores da pressão de vapor à superfície, e a segunda parte do cálculo é semelhante à que é feita em regime permanente. Os valores são comparados com a pressão de vapor do ar interior, numa folha de cálculo, contando com o contributo da ventilação, produção de vapor, e condições do ar exterior. Estes valores horários de ΔP , que abrangem um ano, constituem um volume de resultados incomportável para serem apresentados sob a forma de quadro, assim foram elaborados gráficos como o da figura 3.10.

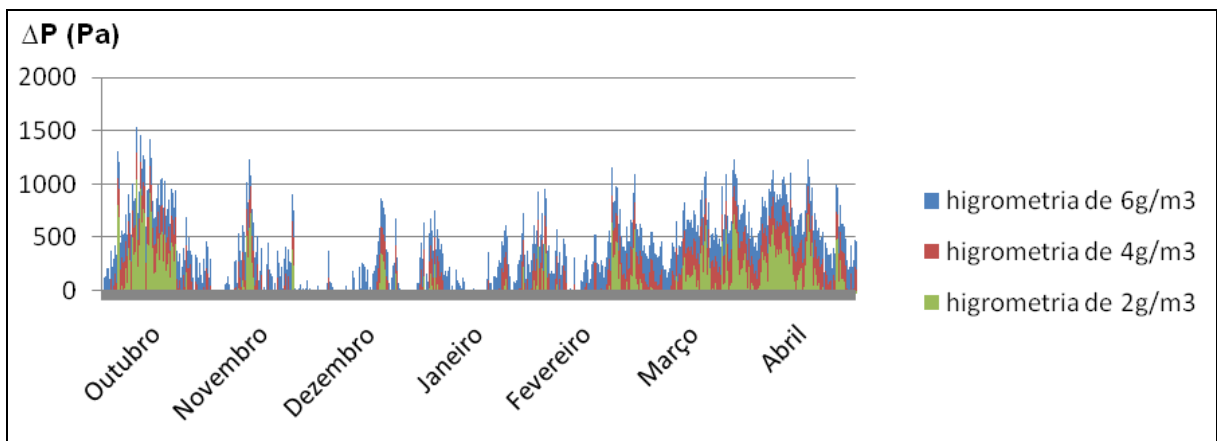


Fig. 3.10 – Gráfico tipo em regime dinâmico.

4

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS INTERIORES – Regime Permanente e Regime Dinâmico

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

No decorrer deste capítulo são apresentados todos os resultados das simulações sendo estes sempre acompanhados por uma análise que procura explicar todas as conclusões que vão sendo apresentadas. Está organizado de maneira a evidenciar e determinar a influência de todos os parâmetros que fizeram parte da pesquisa de uma forma clara e explícita, no fenómeno das condensações.

É necessário referir porque motivo só foram estudados 7 meses do ano correspondentes ao período entre os meses de Outubro e Abril. Esta escolha deve-se ao facto de ser o intervalo de meses onde se registam maiores problemas relativos a condensações como é possível ver no Anexo A

Os dados usados no regime permanente foram dados médios mensais de temperatura e de humidade relativa respectivos às seguintes cidades: Beja, Braga, Bragança, Faro, Lisboa e Porto. Estes dados foram retirados do programa SOLTERM [10]. e são apresentados em seguida.

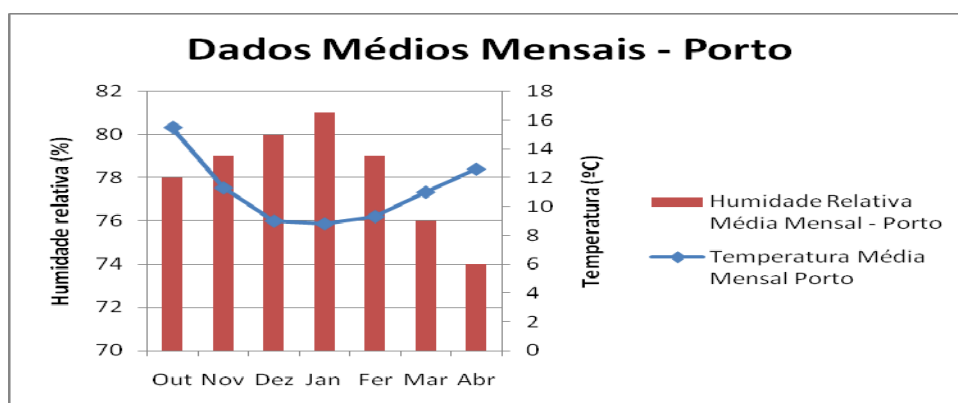


Fig. 4.1 – Dados médios mensais do Porto

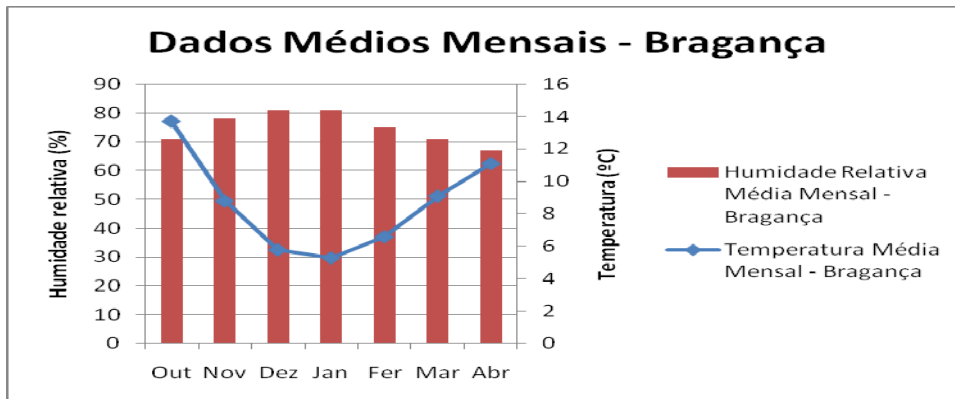


Fig. 4.2– Dados médios mensais de Bragança.

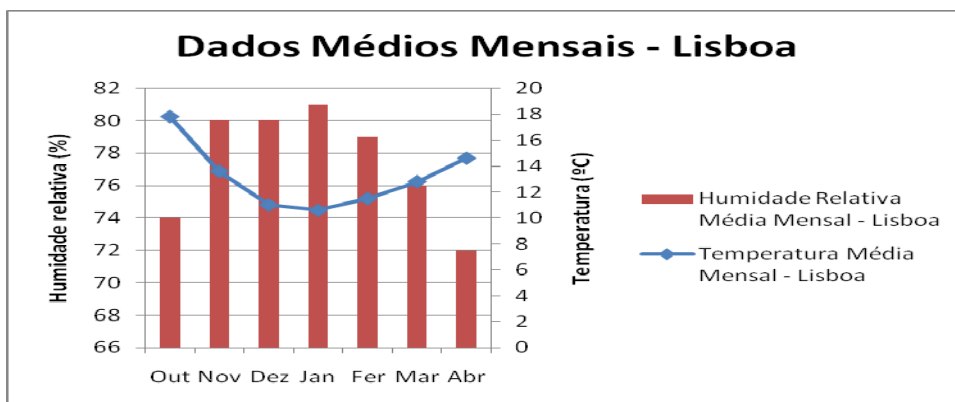


Fig. 4.3 – Dados médios mensais de Lisboa.

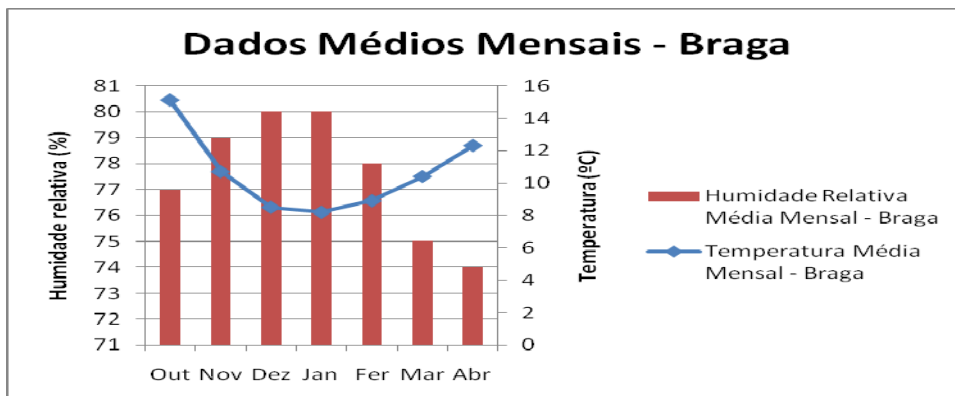


Fig. 4.4 – Dados médios mensais de Braga

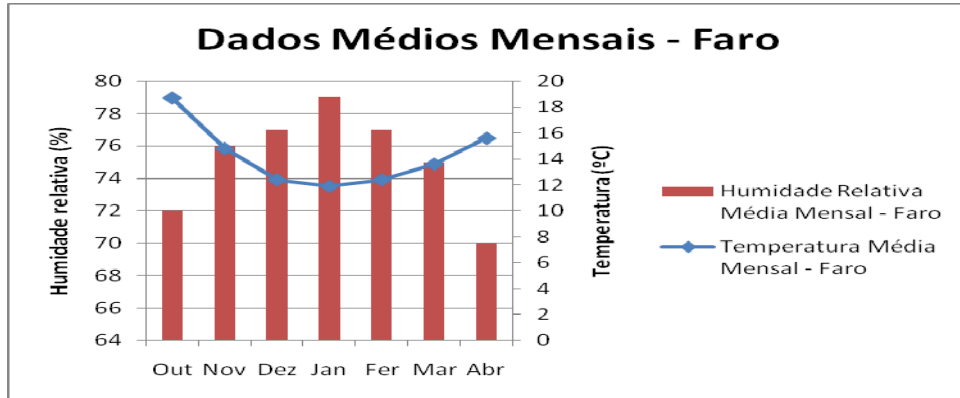


Fig. 4.5 – Dados médios mensais de Faro

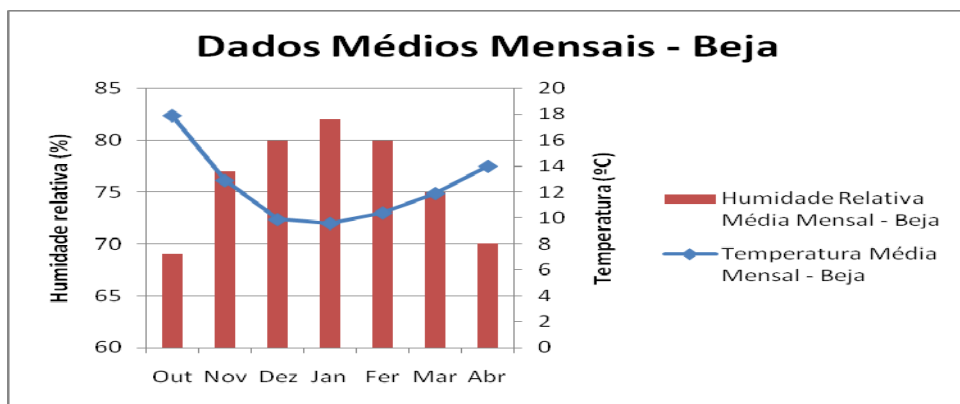


Fig. 4.6 – Dados médios mensais de Beja

Assim, cada quadro que será apresentado posteriormente com resultados em regime permanente é personalizado de acordo com os valores dos gráficos apresentados supra, usando como condições iniciais exteriores os valores das temperaturas médias mensais e humidades relativas médias mensais relativos a cada cidade. A figura 4.7 mostra a localização das várias cidades no território português.



Fig. 4.7 – Localização das cidades escolhidas.

Em relação ao estudo em regime dinâmico é essencial referir que os dados usados são referentes a um ano tipo retirados de Meteonorm [11]. Estes dados antes de poderem ser utilizados precisam de ser formatados através de uma folha de cálculo feita por Manfred Keher, para ficarem com a estrutura usada pelo Wufi. Depois deste passo os dados podem ser tratados no programa.

Nesta segunda abordagem, não foram usados valores médios mensais mas sim dados horários que nos transmitem, de uma forma mais realista, o que se passa durante cada dia e na globalidade de cada mês.

4.2. INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

4.2.1. TIPOS DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS USADOS

Neste tipo de estudo importa estudar o maior número de soluções construtivas possível para melhor se compreender as que se apresentam como mais problemáticas e também perceber a influência que tem as características do elemento no fenómeno estudado.

Assim, as soluções, e os correspondentes coeficientes de transmissão térmica, usadas foram:

Uma parede dupla com isolamento térmico na caixa-de-ar,	$U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Uma parede simples sem isolamento	$U = 2,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Um vidro duplo, Parede de pedra, pilar de betão inserido numa parede	$U = 3,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$
Um vidro simples, caixilharia com perfil em alumínio	$U = 5,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$

4.2.1.1. Descrição e esquematização do tipo dos elementos construtivos usados

Seguidamente são apresentadas figuras com um esquema de cada elemento construtivo estudados neste trabalho.

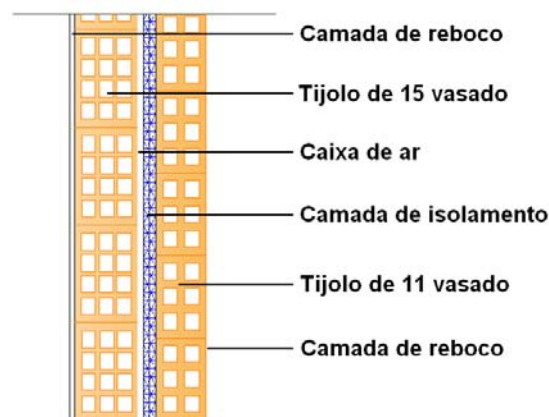


Fig. 4.8 – Parede dupla com isolamento térmico na caixa de ar, $U = 0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$

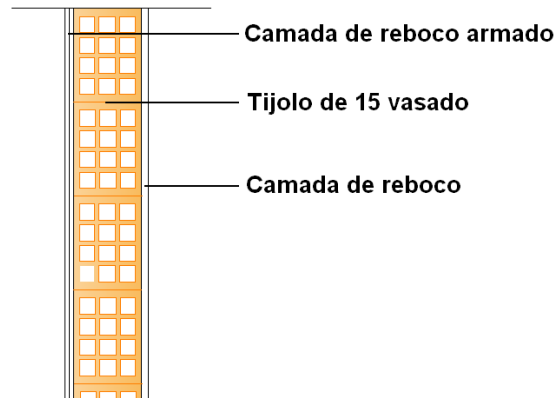


Fig. 4.9 – Parede simples sem isolamento, $U= 2,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$

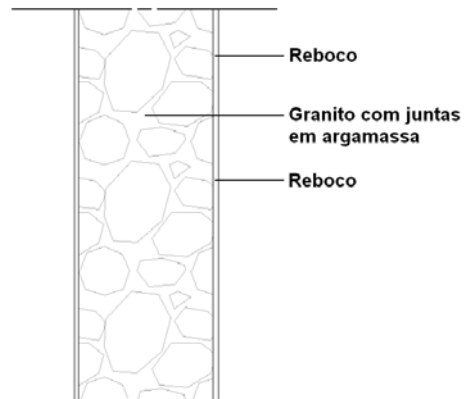


Fig. 4.10 – Parede de pedra, $U=3,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$

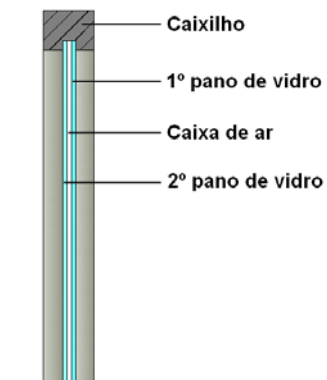


Fig. 4.11 – Janela de vidro duplo, $U= 3,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$

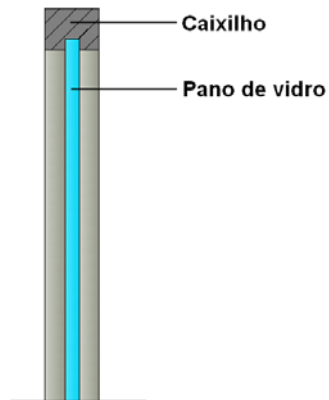


Fig. 4.12 – Janela de vidro simples, $U= 5,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$

4.2.2. RESULTADOS

Neste subcapítulo todos os parâmetros são fixos exceptuando o coeficiente de transmissão térmica.

Os resultados obtidos para o modelo em regime permanente, para o Porto e para quatro coeficientes de transmissão térmica estão nos quadros 4.1 a 4.4. Os quadros estão truncadas por motivos de espaço mas esse facto não altera as conclusões que se podem extrair destes. Os resultados para as outras cidades e os quadros completos encontram-se no Anexo B.

No modelo em regime dinâmico são apresentadas, também para a cidade do Porto, três resultados em cada gráfico 4.13 e 4.14. Estes resultados correspondem a três soluções construtivas com coeficientes de transmissão térmica diferentes. Não foram obtidos resultados para elementos construtivos com vidro e caixilharia em alumínio já que o programa utilizado; Wufi, não apresenta estes materiais na sua base de dados.

Quadro 4.1 – Resultados da análise em regime permanente numa parede dupla U=0.65 no Porto

V(m³) Zz (W/m²°C) 0.05	Porto											
	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Ti(°C)	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	1	1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
n(Reph)	60	750	900	600	750	900	600	750	900	600	750	900
ω(g/h)	66.13	194.8	323.2	62.9	33.9	130.5	141	62.9	130.5	141	62.9	130.5
HR ext (%)	50	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Ti(°C)	151.6	281.3	410.6	21.58	119.1	216.5	56.6	21.58	99.63	109	43.6	21.58
OUT	11.3	19.24	149.3	279	111	13.3	84.3	190	111	32.9	242	176
15.5	113	17.26	147.3	244	146	47.9	322	244	311	181	51	442
9	0.238	130.4	260.2	130	32.3	65.34	209	130	51.9	261	136	195
JAN	227	96.1	34.31	358	260	161	407	388	279	489	434	358
8.8	119	118.3	248.1	342	44.5	53.24	221	142	64	273	208	162
8.8	124	6.94	136.7	255	157	58.6	333	255	157	58.6	333	255
9.3	18.74	148.8	278.5	112	13.5	83.74	190	112	33.4	242	177	112
11	130.8	261.1	389.7	0.448	195.3	77.7	0.448	78.54	130	64.7	0.448	78.54
12.6	125	1.47	131.6	260	162	63.7	338	260	181	301	325	260

Quadro 4.2 – Resultados da análise em regime permanente numa parede simples, U=2.0 W/m²°C no Porto

V(m³) Zz (W/m²°C) 2	Porto											
	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Ti(°C)	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	1	1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
n(Reph)	60	750	900	600	750	900	600	750	900	600	750	900
ω(g/h)	117.3	246	374.4	11.8	85.08	181.7	88.4	11.8	85.08	181.7	88.4	11.8
HR ext (%)	50	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Ti(°C)	195.7	325.4	464.7	65.66	163.2	260.6	12.5	65.66	143.7	64.7	0.922	65.66
OUT	63.33	193.4	323	67	30.77	128.4	165	67	94.7	35.34	165	67
15.5	69	61.35	191.4	200	102	3.8	278	200	121	331	265	200
NOV	80.2	210.3	340.1	50.3	47.66	145.3	129	50.3	280.5	181	116	50.3
11.3	33.3	97.11	227.2	164	85.6	31.94	243	164	85.6	31.94	243	164
DEZ	147	161	114.3	278	180	81.4	357	278	199	409	344	278
9	71.18	201.3	331.1	594	385.64	136.3	138	59.4	163.97	190	135	59.4
JAN	40.9	88.59	219.7	172	73.5	244.4	250	172	93.1	303	237	172
8.8	153	22.1	108.3	264	186	47.4	363	264	205	415	300	264
8.8	94.08	224.2	353.9	36.3	61.51	191.2	115	36.3	41.96	167	102	36.3
9.3	21.7	103.6	238.7	152	54.4	43.48	231	152	74	284	218	152
11	138	6.9	124.4	269	170	72.2	347	269	190	400	334	269
12.6	179.4	309.2	438.6	46.32	146.9	244.3	263.9	46.32	127.4	81.1	158	46.32
ABR	49.65	179.7	305.5	80.8	17.08	114.7	159	80.8	24.48	212	50.6	80.8
12.6	80.1	50.32	180.4	211	113	14.8	289	211	332	342	276	211

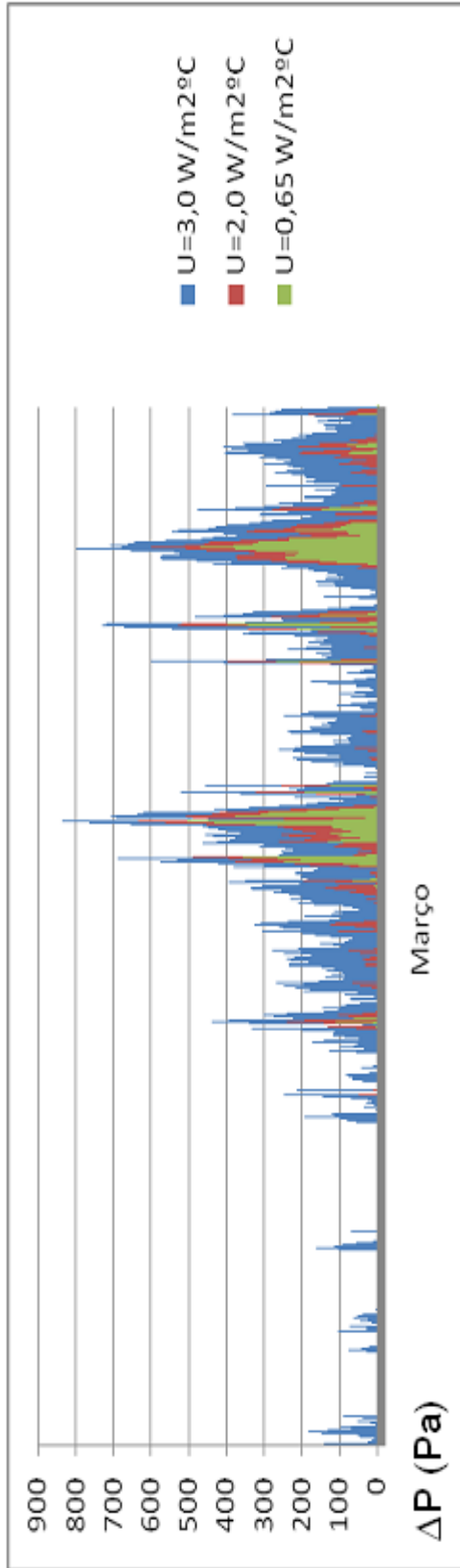


Fig. 4.13 – Influência no tipo de elemento construtivo, no Porto voltado a Sul no mês de Março

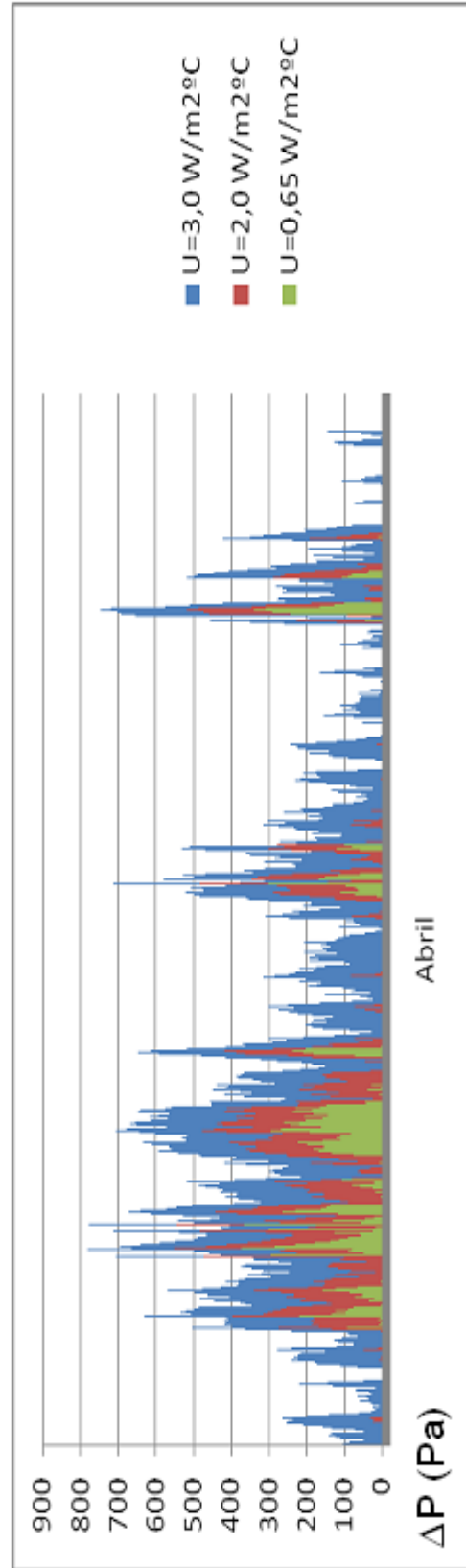


Fig. 4.14 – Influência no tipo de elemento construtivo, no Porto voltado a Sul no mês de Abril.

4.2.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Na análise que se pretende realizar e através da metodologia implementada para o regime permanente, um elemento construtivo que apresenta um determinado coeficiente de transmissão térmica é tanto mais sensível à ocorrência de condensações quanto maior for o número de células a vermelho nos quadros de resultados obtidos. Convém referir que a cada célula corresponde um determinado conjunto de condições iniciais do modelo. Em regime permanente, através da comparação dos quadros 4.1 e 4.2, podemos constatar que à medida que aumentamos o coeficiente de transmissão térmica as células que se apresentam a vermelho vão aumentando. Desta forma, podemos concluir que o aumento do coeficiente de transmissão térmica aumenta a probabilidade de ocorrência do fenómeno da condensação superficial.

No estudo em regime dinâmico a análise de resultados é feita através de gráficos que permitem identificar em função da “mancha” produzida pelos resultados individuais de ΔP para cada hora o maior ou menor risco de condensação. Para uma análise mais directa da influência do tipo de elemento construtivo em regime dinâmico foram construídos os gráficos das figuras 4.14 e 4.15. Foram usados dados do Porto referentes a uma higrometria de $2 \times 10^{-3} \text{kg/m}^3$ e as mesmas condições interiores. Na construção destes dois gráficos mantiveram-se constantes os diferentes parâmetros e apenas se fez o coeficiente de transmissão térmica. Assim as diferenças nas áreas das manchas, correspondentes a condensações na superfície do elemento, devem-se exclusivamente à alteração do coeficiente de transmissão térmica dos elementos estudados.

Após esta análise podemos reforçar o que foi concluído em regime permanente; as soluções construtivas com um coeficiente de transmissão térmica mais elevado são as que requerem uma maior atenção e preocupação no que toca ao risco de ocorrerem condensações superficiais interiores, que se deve ao facto de a temperatura superficial interior ser cada vez mais próxima da temperatura exterior à medida que se diminui a resistência do elemento.

4.3. INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO

4.3.1. VALORES USADOS

A ventilação é um parâmetro que tem de respeitar valores estipulados no RCCTE. Neste regulamento são definidos os limites de 0,6 rph e de 1,2 rph, mínimo e máximo respectivamente. Nas simulações foram utilizados os valores de [0,6 , 0,8 , 1,0 , 1,2] (rph) em regime permanente, e [0,6 , 0,8 , 1,2] (rph) em regime dinâmico.

4.3.2. RESULTADOS

Para esta análise os resultados foram escolhidos ao acaso visto o estudo da influência da ventilação ser independente da situação escolhida.

No quadro 4.5 estão representados os valores para o Porto e para um $U=2,0 \text{W/m}^2\text{°C}$. Para facilitar a análise foram atribuídas cores às colunas com uma mesma produção de vapor de água, salvo as células onde ocorrem condensações, identificando os valores de ΔP que podem ser comparados sempre dentro da mesma linha e com a mesma temperatura interior. Esta alteração tem em vista uma mais rápida e fácil comparação entre os valores que se pretendem comparar. Assim nessa comparação sabemos que o único parâmetro a variar é o que estamos a analisar neste subcapítulo.

As imagens 4.16 e 4.17 traduzem dois meses em regime dinâmico no Porto. Embora o estudo incida sobre mais meses optou-se por separar os resultados para cada mês visto o gráfico com o período completo estudado, que se encontra no anexo C, apresenta uma resolução inferior à da representação mensal.

Para o estudo da influencia da ventilação foi definida uma produção de vapor de 600g/h , que como já foi referido corresponde a um valor mais comum de se encontrar dentro de uma habitação. Assim, as três cores visíveis representam níveis de ventilação diferentes.

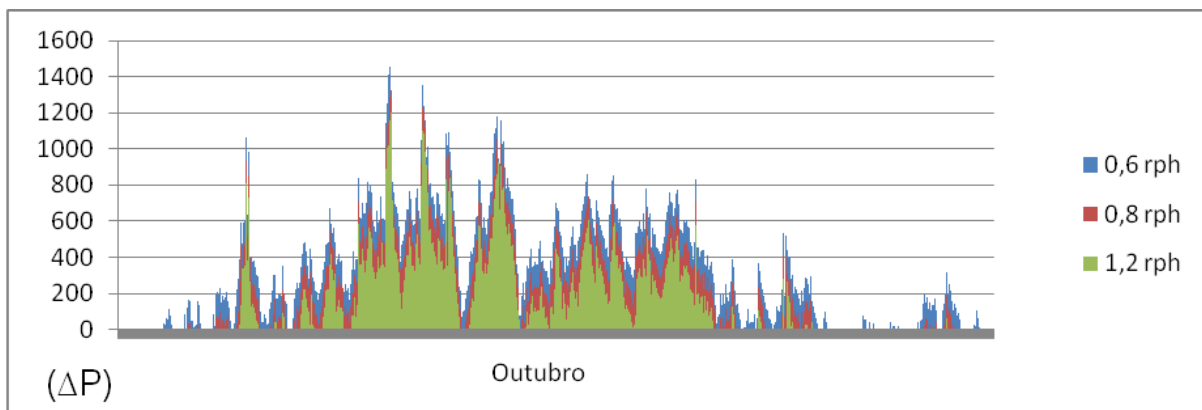


Fig. 4.15 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$, no Porto voltada a sul no mês de Outubro.

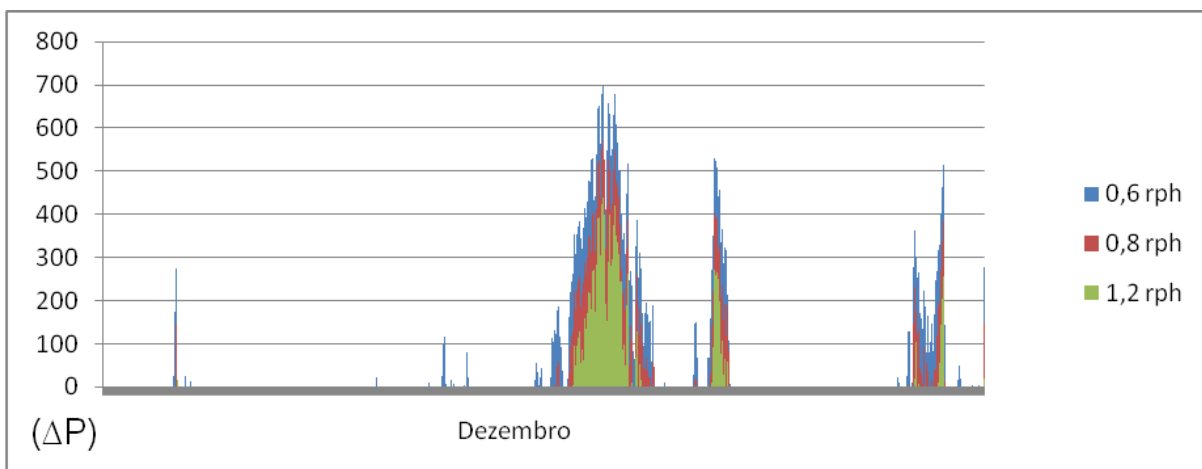


Fig. 4.16 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$, no Porto voltada a sul no mês de Dezembro

4.3.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Começando pela análise dos resultados em regime permanente quando podemos desde logo constatar que as células a vermelho, referentes a situações de condensação, se encontram para níveis de ventilação menores.

Fazendo uma análise mais pormenorizada podemos verificar que, comparando valores da mesma linha e de colunas com a mesma cor, ou seja, com valores de produção de vapor iguais, em qualquer dos

quadros e em qualquer mês, à medida que o valor da ventilação aumenta o valor de ΔP diminuiu ao que corresponde um menor risco de condensação.

Torna-se mais simples a percepção do que foi dito focando apenas uma linha de uns dos quadros como por exemplo a que corresponde ao mês de Novembro com 80% de HR em Bragança (ver Anexo B). Aqui conseguimos apontar com $r_{ph}=0,6$ duas situações com condensações, com $r_{ph}=0,8$ já só encontramos uma e quando subimos o nível de ventilação para 1 e 1,2 rph não encontramos qualquer situação de risco.

A análise permite concluir que o aumento da ventilação diminui o risco de condensação concluindo-se ser de vital importância o estudo da ventilação para o bom funcionamento do edifício. Pela observação do quadro podemos concluir que uma ventilação igual ou superior a 1,0rph o risco de condensação é muito baixo.

A análise em regime dinâmico reforça o que foi concluído. Da análise das figuras 4.15 e 1.16 podemos observar que os valores de ventilação mais baixo, 0.6rph (cor azul), apresentam valores de ΔP mais elevadas a que corresponde um maior risco de condensação. Na figura 4.17 é possível verificar que a redução da ventilação de 1.2rph para 0.6rph origina valores de ΔP aproximadamente duas vezes superior a que corresponde um risco agravado de condensação.

4.4. INFLUÊNCIA DA PRODUÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA

4.4.1. VALORES USADOS

Os valores usados, como referido em 2.2.4., são retirados da ponderação entre os valores de higrometria e ventilação desejados para a pesquisa e tendo em conta os valores atribuídos às diferentes actividades que poderão ser desenvolvidas dentro dos edifícios. Assim foram escolhidos valores compreendidos entre 600 a 900 g/h.

4.4.2. RESULTADOS

Neste capítulo, uma vez mais, importa referir que só são apresentados parte dos resultados e que os restantes se encontram no anexo B.

Nas figuras 4.17 e 4.18 apresentam-se resultados para o regime dinâmico. Nos gráficos destas figuras foi definida uma renovação horária de 1,2 variando apenas a produção de vapor de água.

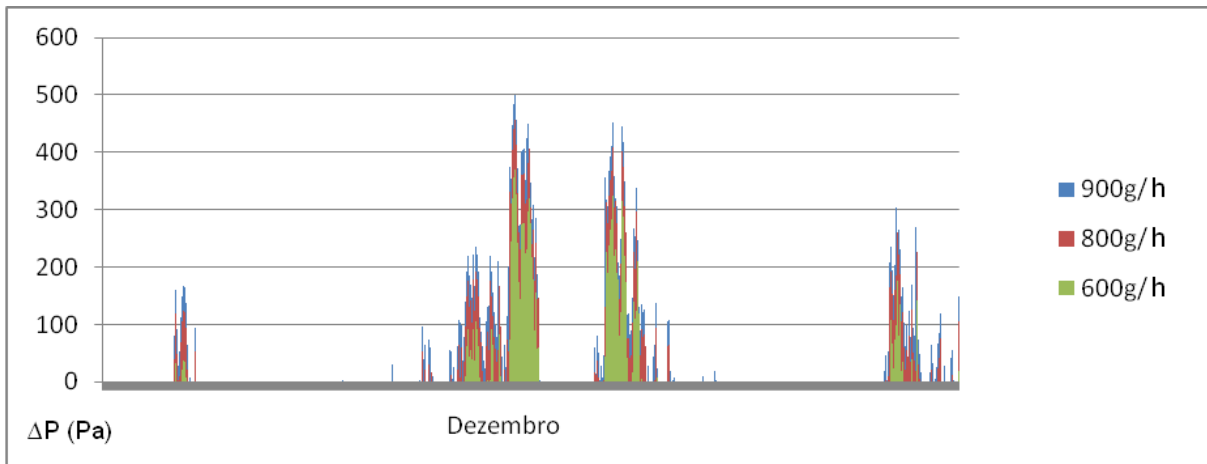


Fig. 4.17 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Lisboa voltada a sul no mês de Dezembro.

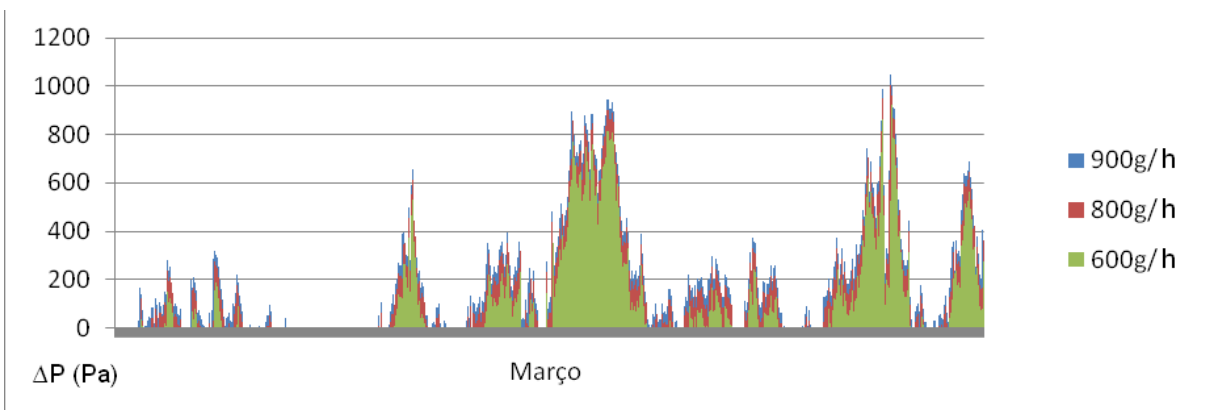


Fig. 4.18 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Lisboa voltada a sul no mês de Março.

4.4.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Fazendo uma análise análoga à que foi feita para a ventilação, mas neste caso comparando resultados com iguais renovações horárias e produções de vapor de água distintas no quadro 4.6, pode facilmente concluir-se que as condensações aumentam à medida que aumentamos a produção de vapor de água.

A análise os gráficos das figuras 4.18 e 4.19 permite confirmar o que se afirmou para o regime permanente. Os valores de ΔP mais elevados e que aparecem na parte superior da mancha de resultados correspondem a valores mais elevados de produção de vapor de água.

Depois de identificar de que maneira este parâmetro influencia o problema das condensações superficiais importa ter a sensibilidade da importância desta influência. Assim podemos tentar comparar resultados deste capítulo com resultados pertencentes ao capítulo anterior.

Em seguida são apresentados dois gráficos sendo os dois retirados de situações idênticas: são os dois em Lisboa, referem-se à mesma parede dupla com um $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$ voltada a sul no mês de Março. A grande diferença é que o primeiro é uma repetição do gráfico 4.20 com uma renovação horária

constante de 1,2rph e 3 diferentes produções de vapor de água, enquanto que no segundo, 4.21, estabeleceu-se uma produção de vapor de água de 600g/h e 3 ventilações diferentes. Importa ainda chamar a atenção para o facto de a mancha de cor verde em ambos os gráficos corresponderem a iguais valores visto serem a mesma situação. Este facto será utilizado para a ponderação entre os dois gráficos.

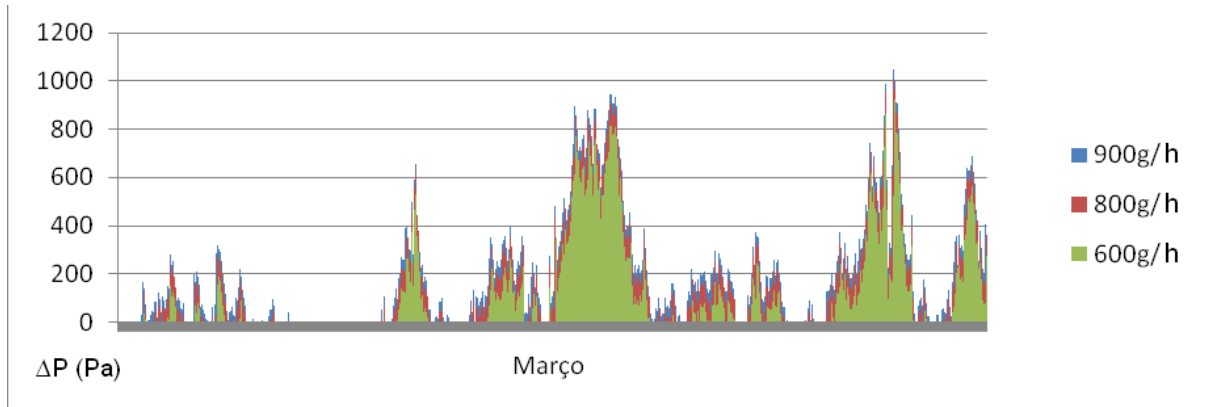


Fig. 4.19 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Lisboa voltada a sul no mês de Março.

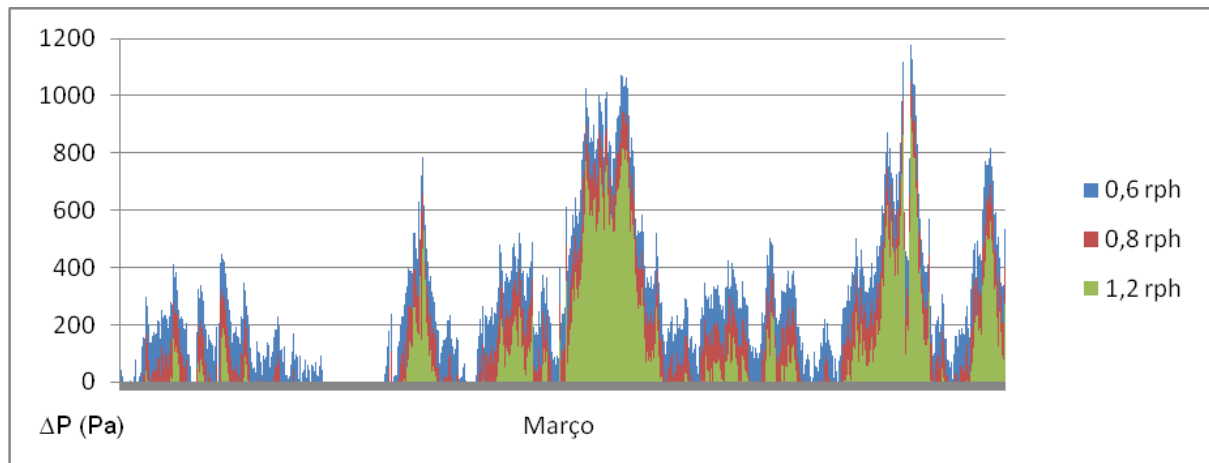


Fig. 4.21 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Lisboa voltada a sul no mês de Março

Torna-se bastante clara a diferença entre os resultados obtidos. O intervalo de variação da produção de vapor de água é bastante mais pequeno quando comparado com o intervalo de variação das renovações horárias, é um facto; porém como referido no capítulo 2 do presente trabalho, corresponde ao intervalo de valores que é mais comum ser encontrada dentro de edifícios habitacionais. Na comparação das figuras 4.20 e 4.21 constata-se que os valores de ΔP evoluem para valores mais elevados quando se reduz a ventilação para o mínimo de 0,6rph do que com o aumento da produção de vapor para o máximo no intervalo definido. Pressupondo a correcta definição do intervalo de valores de produção de vapor, podemos concluir que a importância de um sistema de ventilação mais eficiente é maior do que tentar baixar a produção de vapor de água para controlar condensações superficiais visto os piores valores serem os que vemos no gráfico 4.21 a cor azul.

4.5. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA INTERIOR

4.5.1. VALORES USADOS

Os valores para a temperatura interior usados foram definidos com base em níveis de conforto respeitando a regra definida no capítulo 3 que estabelece uma diferença de pelo menos mais 3 graus no ar interior em relação à temperatura do ar exterior.

No regime permanente, e numa folha de cálculo em *Excel*, o estudo do que se passa em temperaturas com uma diferença superior aos 3 graus seja muito simples, o cálculo em regime dinâmico obriga a repetir o processo mais vezes escolhendo uma amplitude da temperatura nula, calculando e extraindo os resultados a cada temperatura pretendida. Assim em regime dinâmico, em cada mês foi escolhida uma temperatura 3 graus superior à média mensal para tentar respeitar ao máximo a regra definida. Este processo repetiu-se sempre que foi necessário um controlo da temperatura do ar interior no regime dinâmico.

4.5.2. RESULTADOS

Para uma análise mais incisiva são inseridos gráficos em seguida mas referentes apenas a um nível de ventilação em cada temperatura.

Na construção dos gráficos 4.21 e 4.22 foi escolhida uma higrometria de 4g/m^3 e foram calculados resultados para três temperaturas do ar interior diferentes: uma em que o ar no interior é superior em 3°C à média mensal, outra superior 6°C e por fim outra com 8°C de diferença.

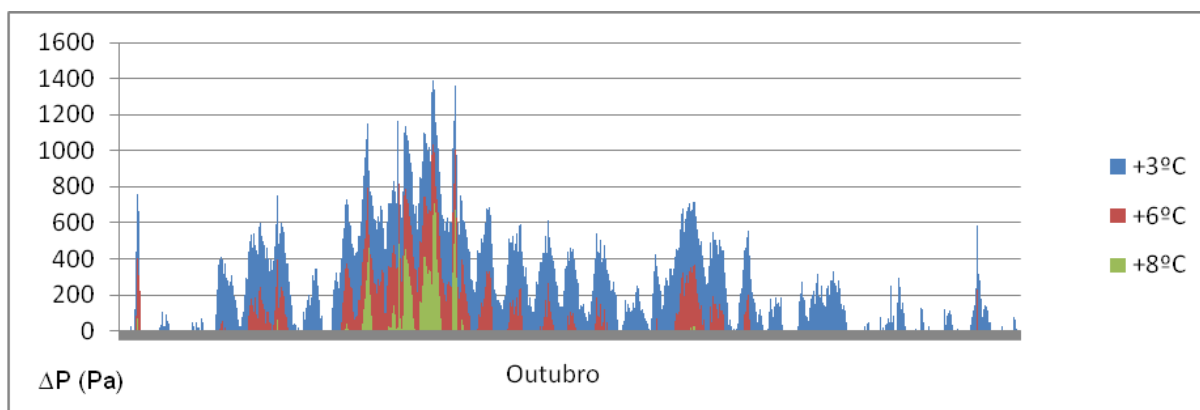


Fig. 4.21 – Comportamento de uma parede, $U=0,65\text{ W/m}^2\text{°C}$, em Braga voltada a norte no mês de Outubro.

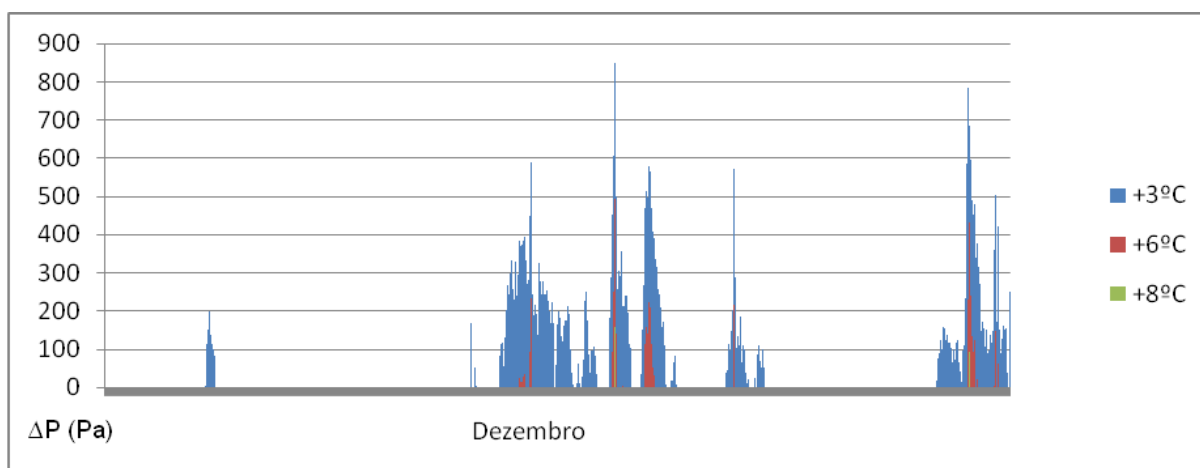


Fig. 4.22 – Comportamento de uma parede, $U=0,65\text{ W/m}^2\text{°C}$, em Braga voltada a norte no mês de Dezembro

4.5.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Começando a abordagem deste subcapítulo pelo regime permanente, é visível através da observação do quadro 4.7 que a quantidade de resultados prejudiciais à funcionalidade do edifício, ou seja a quantidade de condensações diminui de forma bastante expressiva à medida que a temperatura do ambiente interior aumenta. Para melhor fundamentar esta afirmação, podemos atender ao quadro 4.7 onde a diferença de células a vermelho que correspondem a condensações quando se altera a temperatura interior de 14 para 16°C . A comparação dos valores de ΔP vem reforçar esta conclusão, havendo diminuições do risco de condensação para menos de metade resultante do aumento em 2°C o ar ambiente interior.

Em regime dinâmico os gráficos das figuras 4.21 e 4.22 transmitem o que foi concluído neste capítulo em regime permanente de uma forma mais ilustrativa. Cada cor nas manchas de condensações dos gráficos corresponde uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior. O aumento da

temperatura interior produz uma da área da mancha dos gráficos até desaparecer por completo como no gráfico 4.23 referente ao mês de Dezembro.

Conclui-se neste subcapítulo a elevada influência atribuída à temperatura da ambiência interior no controlo das condensações superficiais.

4.6. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E HUMIDADE RELATIVA EXTERIORES

4.6.1. VALORES USADOS

Os dados climáticos usados neste trabalho, como foi referido no capítulo 2, foram retirados do programa Solterm e do Meteonorm usados no cálculo em regime permanente e em regime dinâmico respectivamente.

Para uma correcta interpretação dos resultados é necessário perceber-se que resultados obtidos usando dados médios mensais e resultados obtidos usando dados horários de um ano ao acaso são diferentes. Em qualquer um dos modelos a capacidade de produzir resultados com rigor na previsão do que ocorrerá quando implementadas as soluções construtivas estudadas é limitada. No estudo em regime permanente se o clima do local estudado não sofrer grandes alterações no tempo de vida do elemento construtivo encontrar-se-á um panorama semelhante ao estudado, constituindo assim este estudo uma boa ferramenta na fase de projecto. Contudo este modelo tem outra limitação pois fazendo uso apenas de valores médios não será possível saber se haverá algum momento, num mês que à partida não problemático, ocorreriam condensações.

Em regime dinâmico a utilização de valores horários dá-nos uma maior sensibilidade para o que se passa durante o período escolhido. No entanto, estes resultados terão também um peso relativo pois são referentes, uma vez mais, a dados do passado que poderão ou não ser representativos do que se passará no futuro no local em questão.

4.6.2. RESULTADOS

Nos quadros 4.8 e 4.9 apresentam-se os resultados em regime dinâmico para diferentes condições exteriores.

Nas figuras 4.23 e 4.24 apresentam-se os resultados em regime permanente para condições exteriores diferentes.

Quadro 4.8 – Porto - parede com $U=2 \text{ W/m}^2\text{°C}$

$V(\text{m}^3)=$		Porto										
$U(\text{W/m}^2\text{°C})=$				$T_i (\text{°C})$								
				$\eta (\text{Rph})$								
$TMM(\text{°C})$	$HR \text{ ext } (\%)$	$\omega (\text{g/h})$		600	750	900	600	750	900	600	750	900
NOV 11.3	90	195.7	325.4	454.7	37.67	167.4	296.7	-134	-4.76	124.6		
	80	63.33	193.4	323	-94.7	35.34	165	-267	-137	-7.08		
	70	-69	61.35	191.4	-227	-96.7	33.37	-399	-269	-139		
DEZ 9	90	80.2	210.3	340.1	-72.9	57.18	187	-240	-110	20.1		
	80	-33.3	97.11	227.2	-186	-56	74.05	-353	-223	-92.8		
	70	-147	-16.1	114.3	-300	-169	-38.9	-467	-336	-206		

Quadro 4.9 – Bragança - parede com $U=3 \text{ W/m}^2\text{°C}$

$V(\text{m}^3)=$ 250		Bragança									
$U(\text{W/m}^2\text{°C})=$ 3		T_i (°C)	14	14	14	16	16	16	18	18	18
		η (Rph)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
TMM(°C)	HR ext (%)	ω (g/h)	600	750	900	600	750	900	600	750	900
NOV 8.8	80		18.1	148.6	278.7	-105	25.3	155.4	-238	-107	22.84
	70		-93.9	36.85	167.3	-217	-86.4	44	-350	-219	-88.6
	60		-206	-74.8	55.85	-329	-198	-67.4	-462	-331	-200
DEZ 5.8	80		-50.8	80.04	210.6	-167	-35.8	94.76	-291	-160	-29.9
	70		-142	-10.9	119.8	-258	-127	4.006	-383	-251	-121
	60		-233	-102	29.09	-349	-218	-86.7	-474	-342	-211

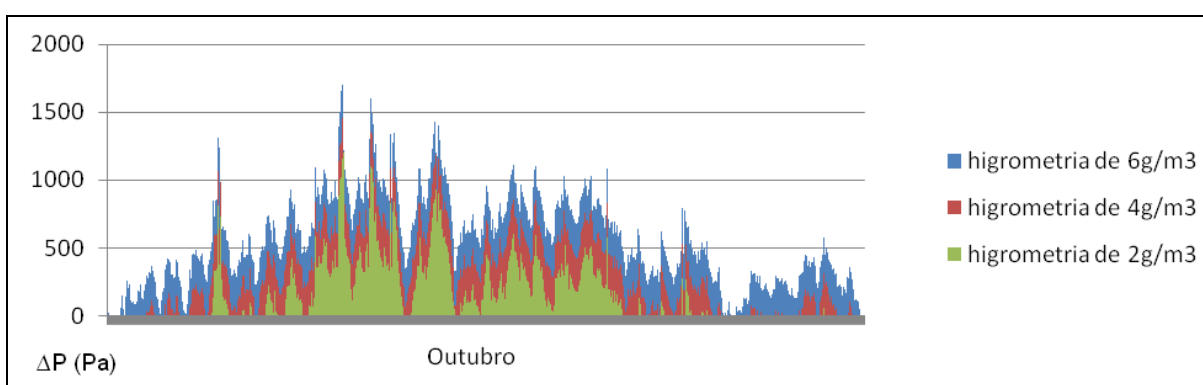


Fig. 4.23 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, no Porto voltada a Sul no mês de Outubro.

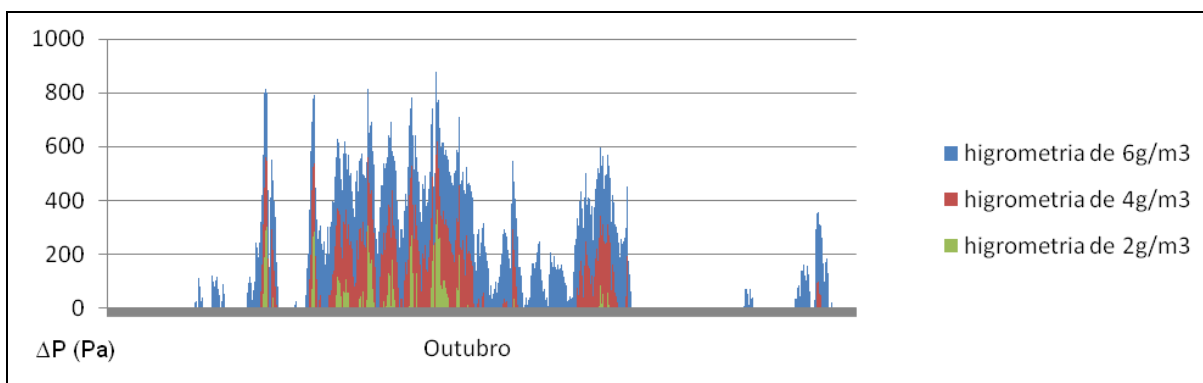


Fig. 4.24 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, em Bragança voltada a Sul no mês de Outubro.

Para uma leitura dos gráficos mais conclusiva importa referir que a média dos dados horários de temperatura e humidade relativa do ar exterior no mês de Outubro nas duas cidades escolhidas são apresentadas no quadro 4.10:

Quadro 4.10 – Médias dos dados horários em Outubro

	Porto	Bragança
Temperatura exterior média	17.0	13.7
Humidade relativa média	76.4	73.4

4.6.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Dos quadros 4.8 e 4.9 é possível concluir-se o valor da influência das condições do ar exterior que, por ventilação do edifício, se mistura com o ar ambiente interior. Só a comparação de resultados pertencentes à mesma coluna tem significado nas conclusões a retirar neste capítulo. Com isto, após a análise dos valores constata-se que o risco potencial de condensações é maior quando a humidade relativa é maior também, e que é menor quando a temperatura exterior é menor.

Os gráficos das figuras 4.23 e 4.24 referentes a Outubro apresentam resultados obtidos para a mesma parede e com a mesma orientação. Com a análise destes e do quadro com a média dos valores inseridos no Wufi, conclui-se que mesmo com humidades relativas dentro da mesma gama de valores os panoramas são bastante diferentes. O Porto aparece como o pior caso tendo mais condensações. Isto deve-se ao facto de o ar em Bragança, com uma temperatura média mais baixa, apesar de ter uma humidade relativa semelhante à do Porto é um ar mais seco visto o valor de humidade absoluta ser mais baixo. Uma vez mais a observação do diagrama psicométrico ajuda à compreensão desta relação.

Compreende-se, por isso, o facto de a mancha de condensação ser maior no gráfico 4.13. resultante do cálculo na área do Porto.

4.7. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO

4.7.1. RESULTADOS

Neste subcapítulo só são apresentados resultados em regime dinâmico pois só possível estudar este parâmetro em programas de cálculo como o Wufi.

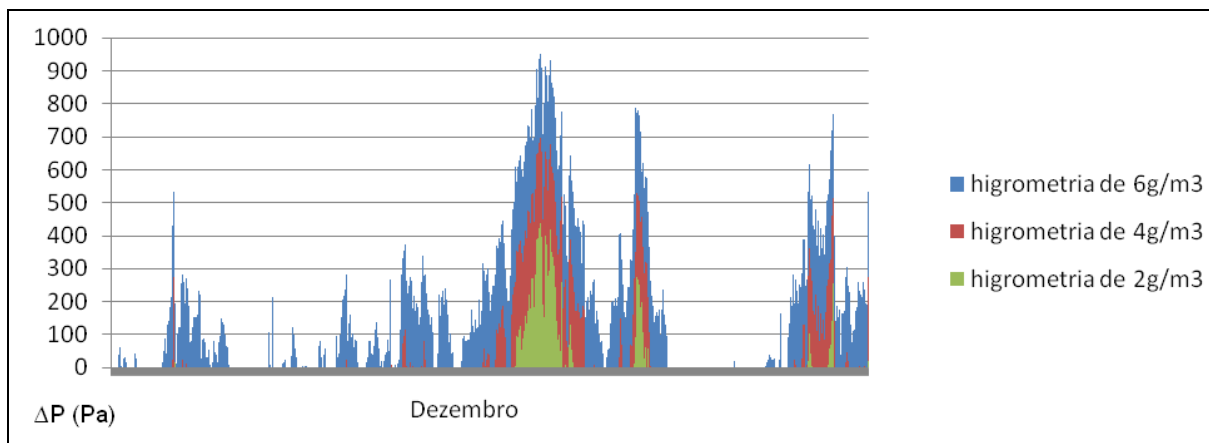


Fig. 4.25 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$, no Porto voltada a Sul no mês de Dezembro.

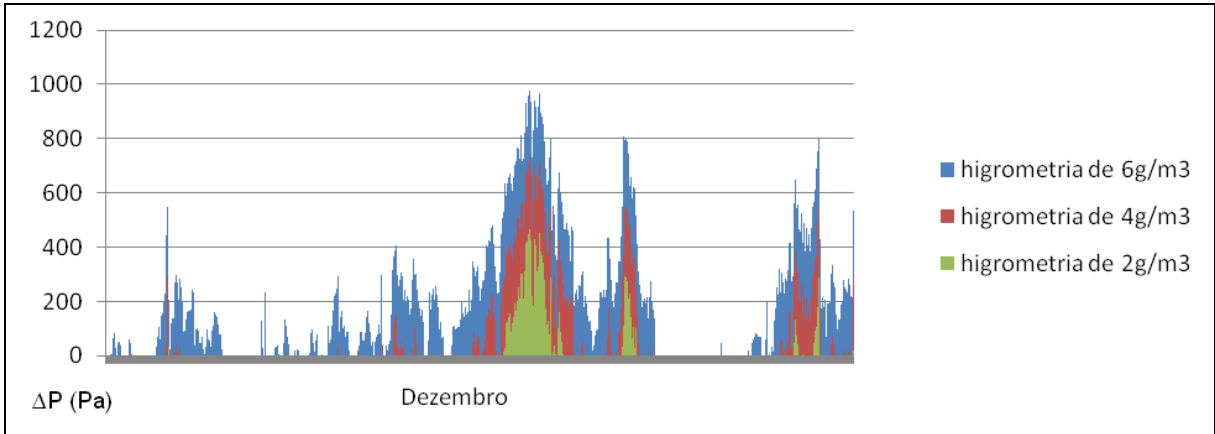


Fig. 4.26 – Comportamento de uma parede, $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$, no Porto voltada a Norte no mês de Dezembro.

As diferenças entre os gráficos 4.25 e 4.26 não são visíveis a esta escala. Tendo em conta a dificuldade de acerto de escala e a escolha de um intervalo que represente com fidelidade o que se passa, foram elaborados os gráficos 4.27 a 4.29.

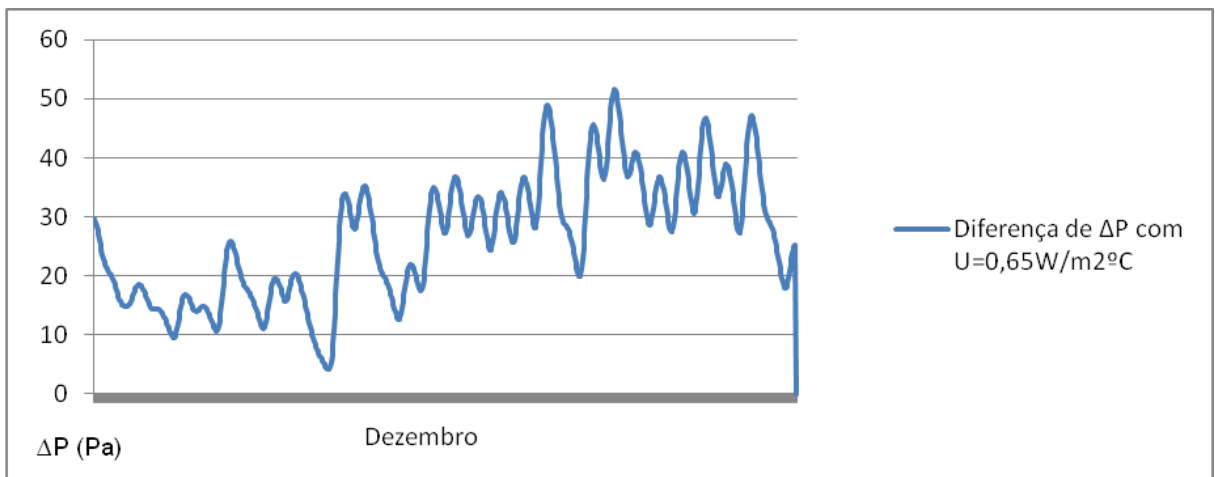


Fig. 4.27 – Análise da influencia da orientação no Porto numa parede com $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$ em Dezembro.

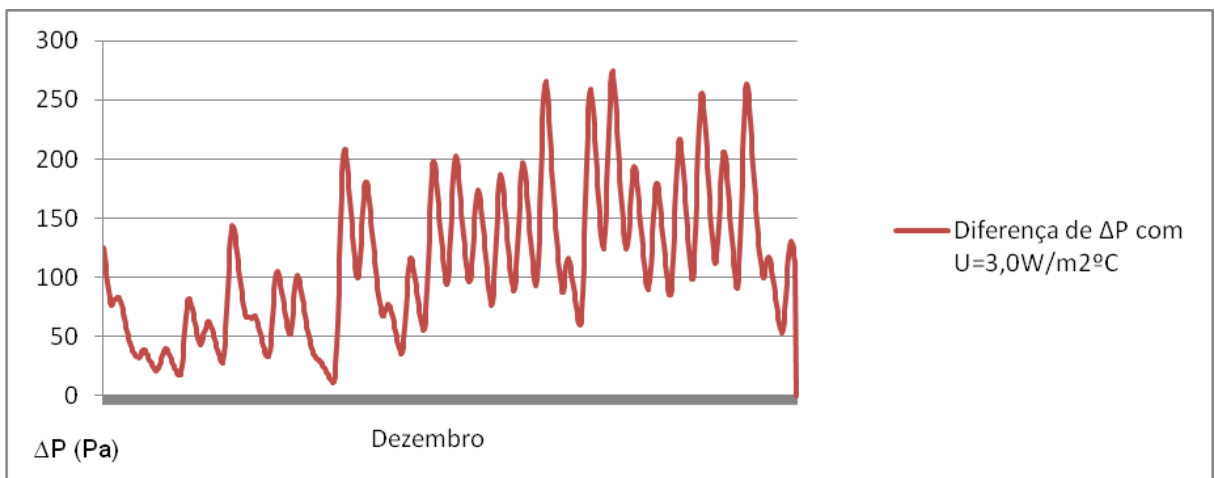


Fig. 4.28 – Análise da influencia da orientação no Porto numa parede com $U=3 \text{ W/m}^2\text{C}$ em Dezembro.

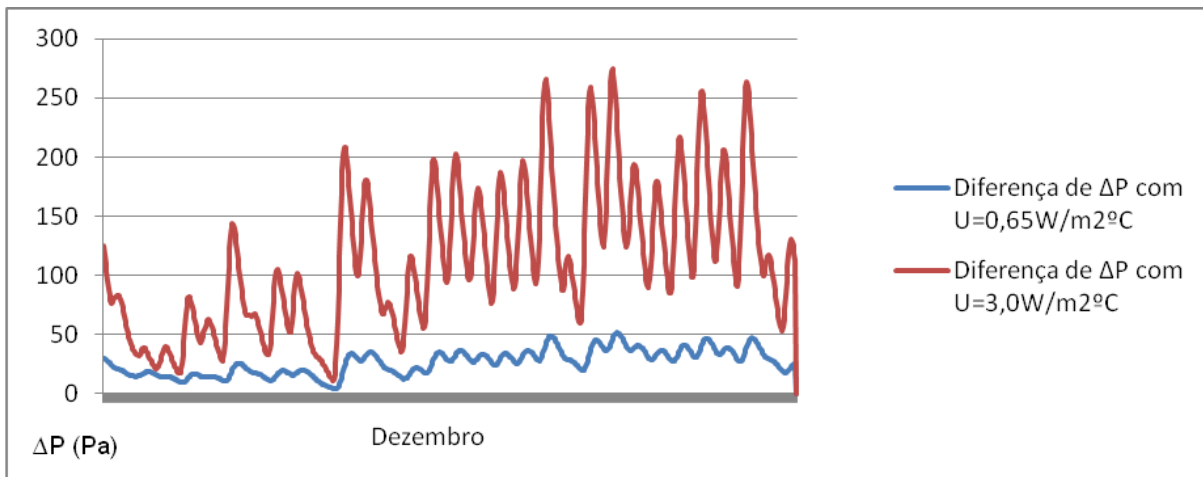


Fig. 4.29 – Análise da influência da orientação no Porto em paredes diferentes em Dezembro.

Para a construção dos gráficos 4.27 e 4.28 foi fixada uma higrometria constante de 4g/m^3 . Cada gráfico apresenta a diferença entre outros dois gráficos. A título de exemplo a cor azul do gráfico da figura 4.24 é a diferença dos valores a vermelho do gráfico da figura 4.26 – referente a uma parede voltada a Norte – e dos valores a vermelho do gráfico da figura 4.25 – referente à mesma parede mas voltada a Sul. Uma primeira conclusão é que os valores de ΔP a norte são sempre maiores que a sul. Na figura 4.29, a cor azul, como a legenda do gráfico indica, representa a diferença de ΔP entre norte e sul numa parede com um $U=0,65\text{ W/m}^2\text{°C}$, e a vermelha por sua vez uma parede com $U=3,0\text{ W/m}^2\text{°C}$.

4.7.2. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Os gráficos 4.24, 4.25 e 4.26 apresentam as diferenças entre os resultados relacionados com orientações diferentes de uma forma mais perceptível do que a comparação entre os gráficos 4.25 e 4.26.

A influência da radiação solar depende do elemento construtivo em questão sendo esta influencia mais significativa quando o coeficiente de transmissão térmica é mais elevado. Nos gráficos 4.27 e 4.28 é possível ver que cada máximo relativo corresponde ao pico de temperatura interior provocado pelos ganhos solares. A diferença entre os resultados correspondentes ao norte e sul nunca chega a ser nula visto a energia recebida por radiação não ser completamente perdida no ciclo de radiação.

É pertinente ainda a comparação desta influência em pontos diferentes do país para se perceber se a radiação varia significativamente com o local:

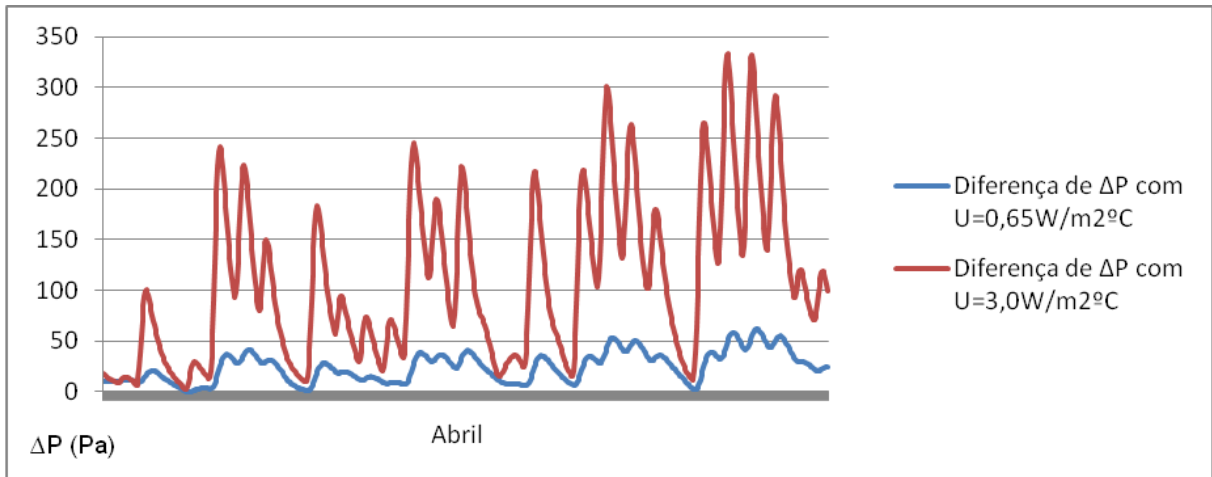


Fig. 4.30 – Análise da influência da orientação no Porto em paredes diferentes em Abril.

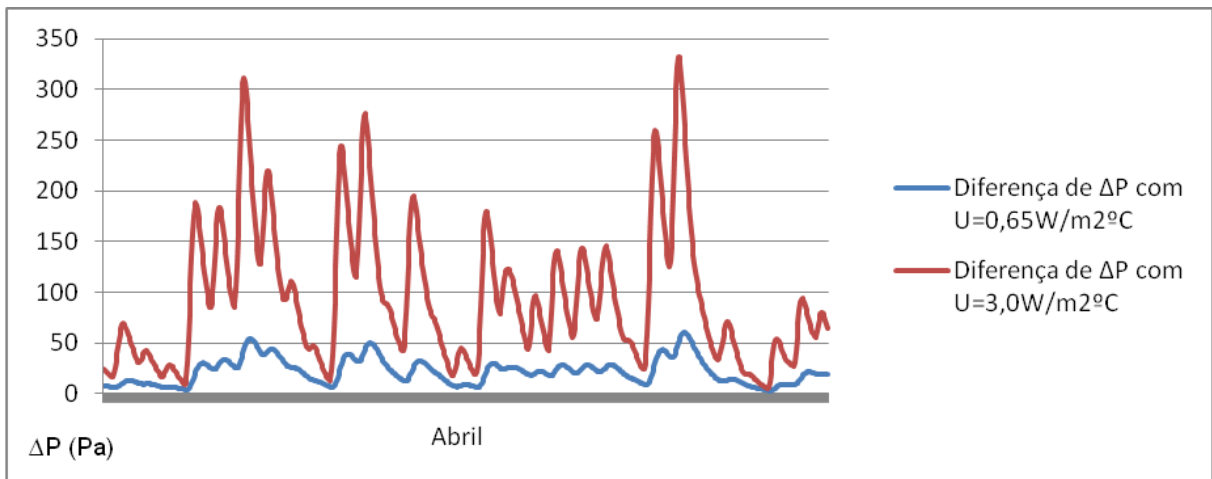


Fig. 4.31 – Análise da influência da orientação em Lisboa em paredes diferentes em Abril.

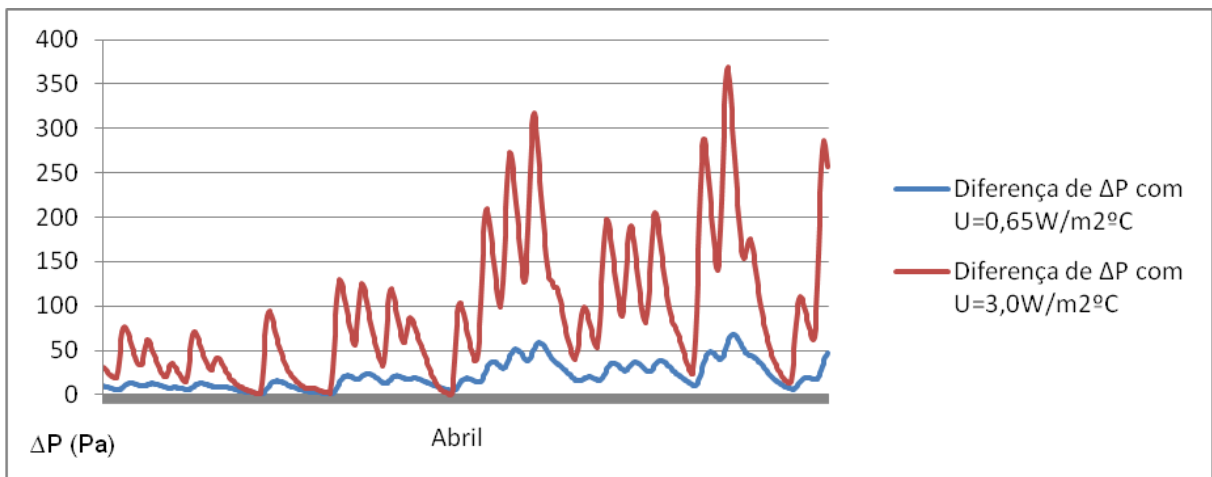


Fig. 4.32 – Análise da influência da orientação em Bragança em paredes diferentes em Abril.

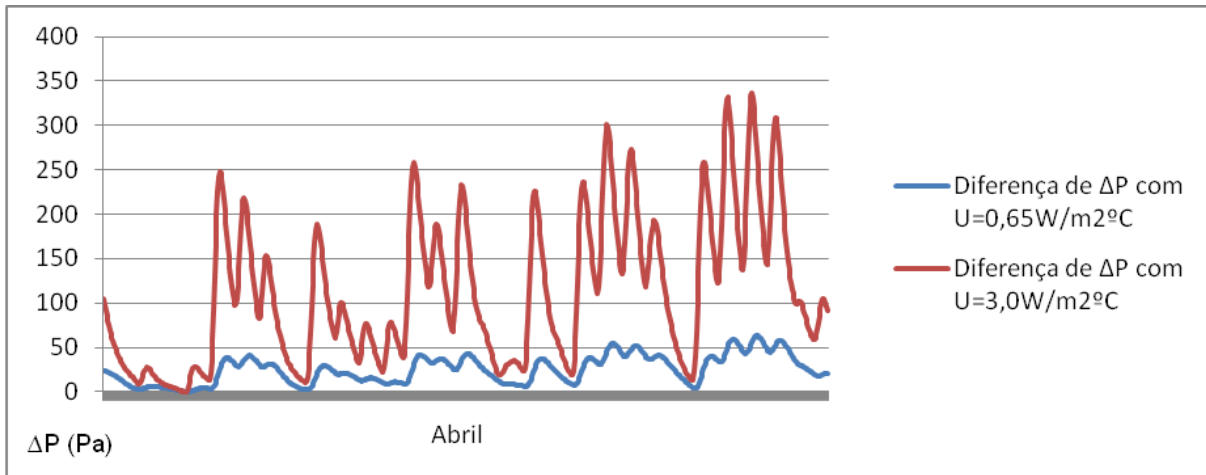


Fig. 4.33 – Análise da influência da orientação em Braga em paredes diferentes em Abril.

Comparando os vários gráficos – 4.30 a 4.33 – percebe-se que os valores não diferem significativamente entre as quatro cidades. Os máximos e mínimos em cada solução construtiva têm valores muito parecidos nos vários gráficos. Pode-se então concluir que a radiação incidente nas cidades escolhidas é semelhante uma vez que os resultados são semelhantes.

Por outro lado, a variação da radiação incidente em alturas do ano diferentes consegue produzir diferenças como é visível na figura 4.30. Consta-se que a radiação sentida no mês de Abril aumenta a diferença entre os resultados correspondentes a orientações diferentes.

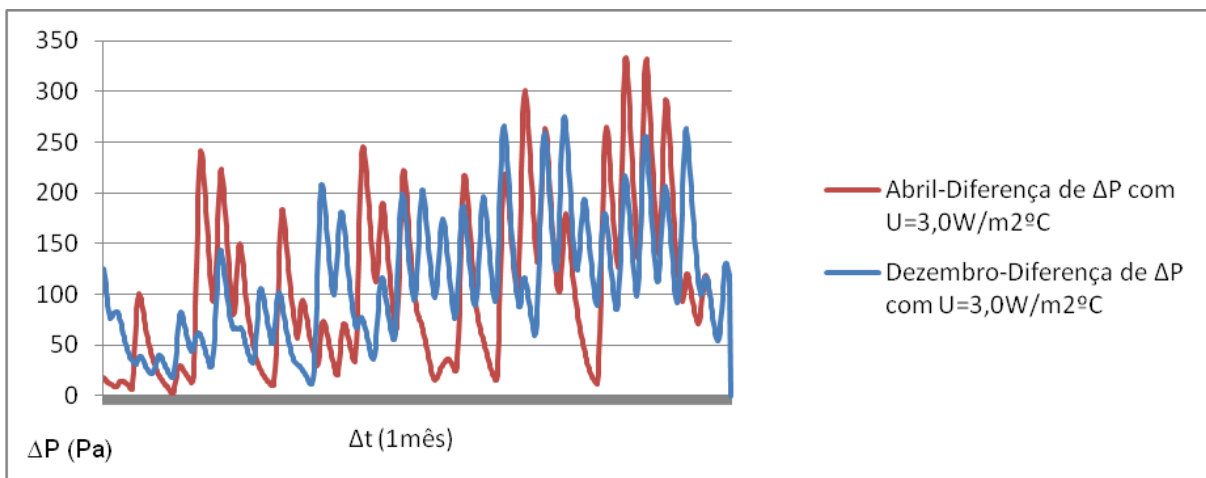


Fig. 4.34 – Análise da influência da orientação no Porto em meses diferentes numa parede com $U=3 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

A conclusão mais importante que se pode retirar neste capítulo é a maior vulnerabilidade que existe numa parede mal isolada. A maior diferença de ΔP , relacionada com diferentes orientações, verificada numa parede de $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$ é de 70 Pa, que representa uma mudança próxima de 5% no valor de ΔP . Enquanto que a maior diferença no valor de ΔP , relacionada com a orientação escolhida, verificada numa parede de $U=3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ é de 350 Pa, que significa uma diferença aproximadamente de 30% no valor de ΔP . Conclui-se então ser significativo e importante, no estudo das condensações, a orientação em paredes com um coeficiente de transmissão térmica mais elevados.

5

APLICAÇÃO A UM CASO PRÁTICO

5.1. APLICAÇÃO A UM CASO PRÁTICO

Neste último capítulo, procurou-se reunir todas as conclusões a retirar do estudo feito, para tal, tomou-se um caso prático e fez-se a aplicação a aplicação dos modelos.

Neste estudo foram considerados dois quartos, o primeiro situado no Porto com um coeficiente de transmissão térmica de $0,65 \text{ W/m}^2\text{C}$, e o segundo situado em Bragança com $U=2,0 \text{ W/m}^2\text{C}$.

Cada um dos quartos tem doze metros quadrados de área, um pé direito de 2,8m o que perfaz um volume de $33,6\text{m}^3$, um caudal de ventilação de $33,6\text{m}^3/\text{h}$ que significa uma renovação horária – 1rph – e ainda que é usado por 2 adultos essencialmente para dormir, o que significa uma produção de 120g de vapor de água por hora.

O valor da higrometria do quarto será de $3,56 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ que se classifica como uma higrometria média e corresponde a edifícios não sobrelotados e com uma correcta ventilação.

Foram introduzidos estes valores nos dois modelos e feito um estudo semelhante ao apresentado no capítulo 4. Nos quadros relativos ao modelo simplificado as colunas correspondentes a uma renovação horária, valor escolhido para o caso prático, são assinaladas com cor verde. Nos gráficos relativos ao modelo em regime dinâmico são apresentados os valores de ΔP apenas com a higrometria resultante dos dados definidos. Para uma melhor compreensão da diferença dos dois modelos são apresentados quadros com a média mensal dos resultados em regime dinâmico.

O quadro 5.1 apresenta os resultados do caso prático no Porto em regime permanente. A figura 5.1 e quadro 5.2 apresentam os resultados em regime dinâmico no Porto.

Se a observação incidir apenas nos valores do gráfico a ideia que surge é que haverá uma grande diferença entre os resultados dos dois modelos, contudo o quadro 5.2 revela o contrário. Os valores médios mensais são da mesma ordem de grandeza, tendo em conta que a temperatura interior no modelo em regime dinâmico é próxima dos 15°C. O “ranking” dos meses com maiores riscos potenciais de condensação é muito parecido nos dois modelos. Aparecendo Dezembro Janeiro e Fevereiro com um baixo potencial para condensações e Março como um dos mais problemáticos.

O quadro 5.3 apresenta os resultados do caso prático em Bragança em regime permanente. A figura 5.2 e quadro 5.4 apresentam os resultados em regime dinâmico em Bragança.

Quadro 5.3 – Resultados regime permanente do caso prático em Bragança.

V(m ³)= 33.6 U(W/m ² °C)= 2		Bragança																				
		Ti (°C)	14				16				18				20				22			
		η (Rph)	0.6	0.8	1	1.2	0.6	0.8	1	1.2	0.6	0.8	1	1.2	0.6	0.8	1	1.2	0.6	0.8	1	1.2
TMM(°C)	HRext (%)	ω (g/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
OUT 13.7	80						274.7	82.26	-33.6	-111	96.97	-95.5	-211	-289	-96.3	-289	-405	-482	-306	-499	-615	-692
	70						120.6	-72.4	-189	-266	-57.1	-250	-366	-444	-250	-443	-560	-637	-460	-653	-770	-847
	60																					
NOV 8.8	80		213.5	19.75	-96.9	-175	60.79	-133	-250	-328	-106	-299	-416	-494	-287	-481	-597	-675	-484	-678	-794	-872
	70		102.1	-92.1	-209	-287	-50.6	-245	-362	-440	-217	-411	-528	-606	-398	-592	-709	-787	-595	-789	-906	-984
	60		-9.32	-204	-321	-399	-162	-357	-474	-552	-328	-523	-640	-719	-510	-704	-821	-900	-707	-901	-1018	-1097
DEZ 5.8	80		116.1	-78.3	-195	-273	-30.5	-225	-342	-420	-190	-385	-502	-580	-364	-559	-676	-754	-554	-748	-865	-943
	70		25.34	-169	-287	-365	-121	-316	-433	-512	-281	-476	-593	-671	-455	-650	-767	-845	-644	-839	-956	-1035
	60		-65.4	-261	-378	-456	-212	-407	-525	-603	-372	-567	-684	-763	-546	-741	-858	-937	-735	-930	-1048	-1126
JAN 5.3	80		102.4	-92.1	-209	-287	-43.2	-238	-355	-433	-202	-396	-514	-592	-375	-569	-686	-765	-563	-757	-874	-953
	70		14.72	-180	-297	-376	-131	-326	-443	-521	-290	-484	-602	-680	-462	-657	-775	-853	-651	-845	-963	-1041
	60		-72.9	-268	-386	-464	-219	-414	-531	-610	-377	-572	-690	-768	-550	-745	-863	-941	-738	-933	-1051	-1129
FEV 6.6	80		139.5	-54.8	-172	-250	-8.72	-203	-320	-398	-170	-365	-481	-560	-346	-540	-657	-735	-538	-732	-849	-927
	70		43.56	-151	-268	-346	-105	-299	-416	-495	-266	-461	-578	-656	-442	-637	-754	-832	-633	-828	-945	-1023
	60		-52.3	-247	-365	-443	-201	-396	-513	-591	-362	-557	-674	-753	-538	-733	-850	-929	-729	-924	-1042	-1120
MAR 9.1	80		224.8	31.09	-85.5	-163	71.44	-122	-239	-317	-95.7	-289	-406	-484	-278	-471	-588	-666	-475	-669	-786	-863
	70		111.1	-83	-200	-278	-42.3	-236	-353	-431	-209	-404	-520	-598	-391	-585	-702	-780	-589	-783	-900	-978
	60		-2.6	-197	-314	-393	-156	-351	-468	-546	-323	-518	-635	-713	-505	-700	-817	-895	-703	-897	-1014	-1093
ABR 11.1	80		307.8	114.6	-1.67	-79.3	150.2	-43	-159	-237	-21.4	-215	-331	-409	-208	-401	-518	-595	-411	-604	-721	-798
	70		177.8	-15.9	-132	-210	20.26	-173	-290	-368	-151	-345	-462	-540	-338	-532	-648	-726	-541	-735	-851	-929
	60		47.9	-146	-263	-341	-110	-304	-421	-499	-281	-476	-592	-671	-468	-662	-779	-857	-671	-865	-982	-1060

No quadro 5.3, com as condições definidas, não aparecem células a vermelho, ou seja o valor de ΔP é sempre negativo não havendo condensações. E o mês com o maior potencial de risco é Abril com um valor de -1,67 que é muito próximo de um valor positivo. No segundo modelo temos:

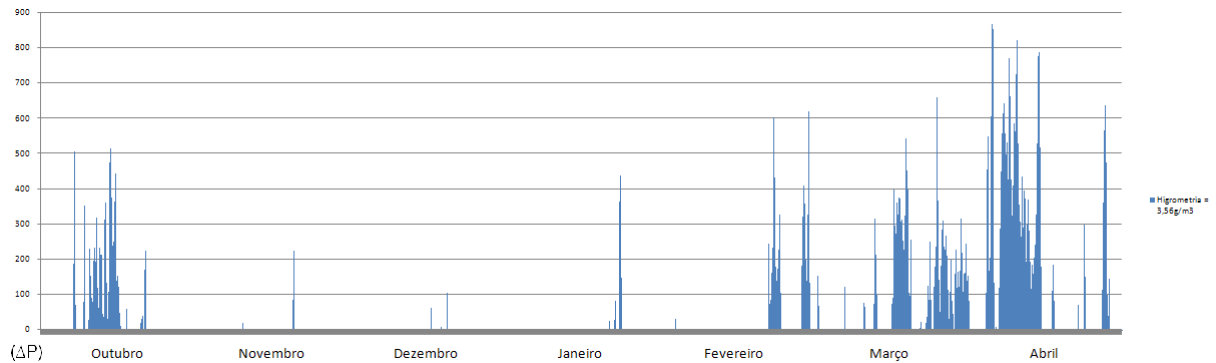


Fig. 5.2 – Resultados em regime dinâmico do caso prático em Bragança.

Quadro 5.4 – Média mensal dos resultados em regime dinâmico do caso prático em Bragança.

	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
$\Sigma \Delta p$ (total)	-243782	-457411	-460749	-320697	-176659	-59481	-2484
Δp médio (total)	-327	-636	-620	-432	-263	-80	-3

Mais uma vez, nenhum mês aparece com um valor positivo na média dos valores de ΔP , e Abril continua como o mês mais problemático sendo o valor médio mensal novamente muito próximo de zero.

Nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro do gráfico da figura 5.1 e nos meses de Março e Abril da figura 5.2 é possível ver manchas correspondentes a condensações, embora os valores médios mensais de ΔP apresentados nos quadros 5.2 e 5.4 serem negativos. Este facto reforça a necessidade desta análise mais detalhada para um estudo mais claro do que poderá ser o real comportamento no futuro das soluções construtivas implementadas. Meses em que o valor de ΔP seja negativo mas próximo de zero poderão constituir situações de risco iminente visto esta situação poder rapidamente evoluir para um valor positivo.

Como conclusão, o modelo em regime permanente será uma ferramenta útil na fase de projecto para se perceber se haverá risco de condensações superficiais interiores ao implementar uma dada solução construtiva num determinado local se as condições higrotérmicas durante a vida útil do edifício diferirem das condições assumidas em projecto, ajudando a perceber de que forma agir para se controlar e evitar este fenómeno.

O modelo em regime dinâmico ajuda à percepção da inconstância deste fenómeno e permite que haja um maior controlo no número de horas em que há condensações sendo assim possível escolher os materiais da solução construtiva e prever o tipo de potenciais problemas na sua superfície.

6

CONCLUSÕES

6.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Estudar o fenómeno das condensações superficiais é um desafio por várias razões mas principalmente por implicar o conhecimento da influência de múltiplos factores que directa ou indirectamente promovem este fenómeno.

Os inúmeros parâmetros com influência nas condensações superficiais levaram a um estudo assente em modelos de cálculo que permitissem cruzar e estudar cada um destes parâmetros. A primeira decisão foi desenvolver este estudo em dois regimes diferentes – em regime permanente e em regime dinâmico. O número parâmetros contabilizados em cada um é diferente, sendo também diferente o volume de trabalho em cada um para se produzirem os resultados desejados.

Assim, foi possível desenvolver uma folha de cálculo que permite facilmente perceber o risco de condensações superficiais interiores assente num modelo de cálculo em regime permanente. Este modelo simplificado é de fácil utilização e utiliza parâmetros de simples obtenção. Os resultados são apresentados sob a forma de quadros onde cada célula contém o valor de ΔP obtido pelo conjunto de condições interiores e exteriores. As células com um valor de ΔP positivo, correspondente a condensação superficial no elemento construtivo estudado, são preenchidas a vermelho transmitindo, desta forma, visualmente o risco de condensações. A grandeza do resultado de ΔP transmiti ainda o risco potencial desta condensação, por isso, valores negativos mas próximos de zero constituem situações que devem ser também estudadas com cuidado.

Foi possível também explorar um programa de cálculo avançado wufi e integra-lo num modelo em regime dinâmico. Foram estudadas as potencialidades deste programa e tratados todos os dados para se obterem os resultados desejados. Estes resultados são também valores de ΔP mas são apresentados em gráficos que apresentam manchas com cores diferentes relativas a condensações superficiais com condições diferentes. O tipo de apresentação dos resultados neste modelo conseguiu também transmitir de uma forma simples e objectiva a influência de cada parâmetro estudado.

Para os dois modelos foram feitas simulações numéricas para estudar a influência de vários parâmetros. Para o estudo da influência de cada parâmetro foram fixados todos os restantes parâmetros fazendo variar apenas o valor do parâmetro em questão. Este estudo incidiu nos seguintes parâmetros:

- Coeficiente de transmissão térmica – concluindo que é essencial o estudo e implementação de uma solução construtiva bem isolada.

- Ventilação – concluiu-se que uma ventilação eficiente é essencial para evitar este fenómeno. Foi possível perceber que mantendo uma ventilação igual ou superior a uma renovação horária reduz significativamente o risco de condensações.
- Produção de vapor de água – concluiu-se que uma produção de vapor exagerada para o aposento em questão pode desencadear ou potenciar o fenómeno das condensações superficiais. Se este parâmetro não for superior a 600g/h o risco é baixo, se a ventilação for eficiente.
- Temperatura interior – este parâmetro tem grande expressão neste fenómeno, uma temperatura interior que seja 6°C mais elevada do que a temperatura exterior resulta num risco mínimo de condensações, se a ventilação e produção de vapor não apresentar valores fora dos valores normais.
- Temperatura e Humidade relativa exteriores – foi encontrada uma grande variabilidade de resultados relacionados com condições exteriores diferentes. Foram estudadas várias cidades e foi possível perceber que o Porto, dentro das cidades estudadas, é que apresenta mais potenciais riscos.

Como conclusão do estudo foi feita uma aplicação dos dois modelos a um caso prático que permitiu uma comparação entre eles. A principal conclusão retirada foi que os resultados entre eles não são muito diferentes quando abordados as médias mensais dos dois modelos.

6.2. PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO

No final deste trabalho é uma continuação do estudo feito o desenvolvimento de uma folha de cálculo para cálculos horários de ΔP e o ΔP acumulado para um aprofundamento da análise iniciada.

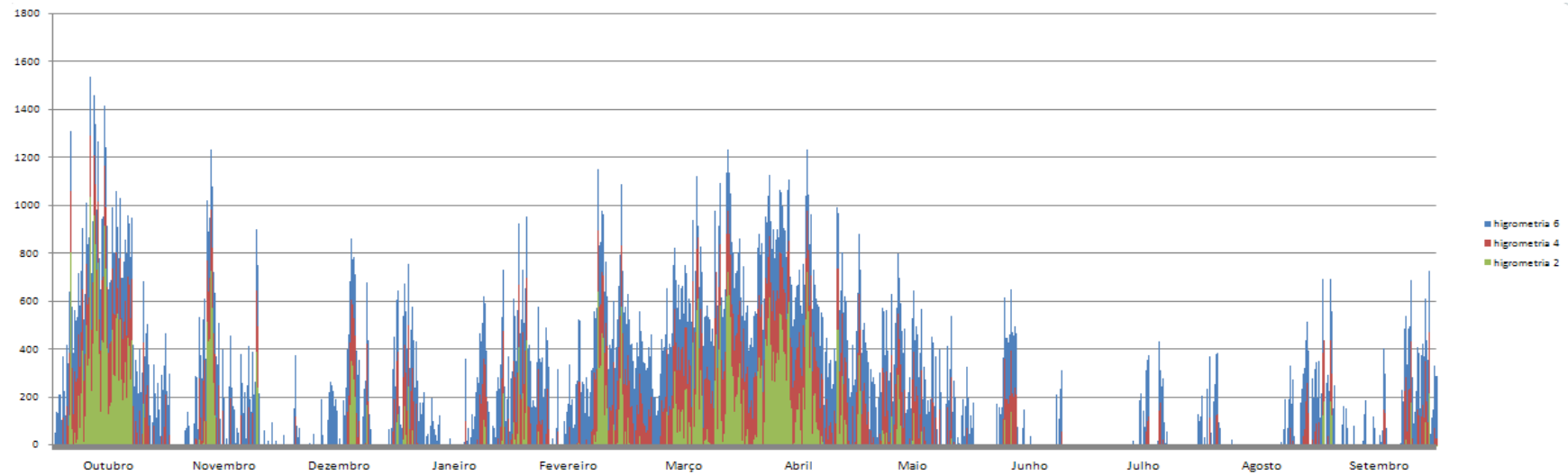
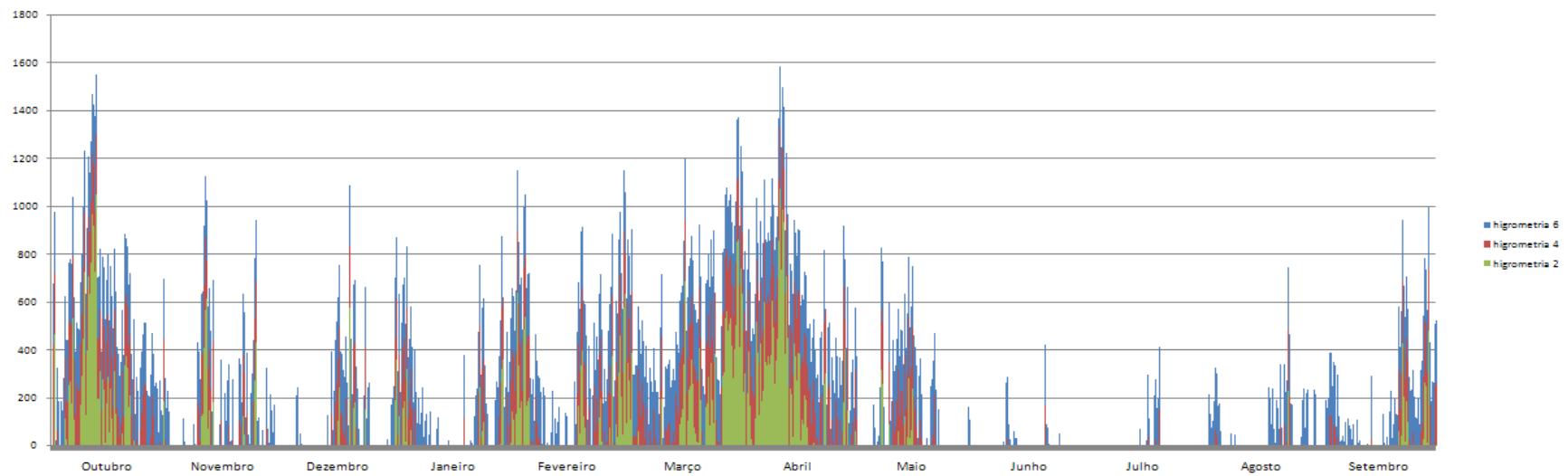
Outra proposta que trará uma maior utilidade a este estudo é a de desenvolver mapeamentos que evidenciem os riscos de condensações para os vários concelhos do país, dividindo-os para valores normalizados e mais comuns de coeficientes de transmissão térmica e para as diferentes classes de higrometria de edifícios.

BIBLIOGRAFIA

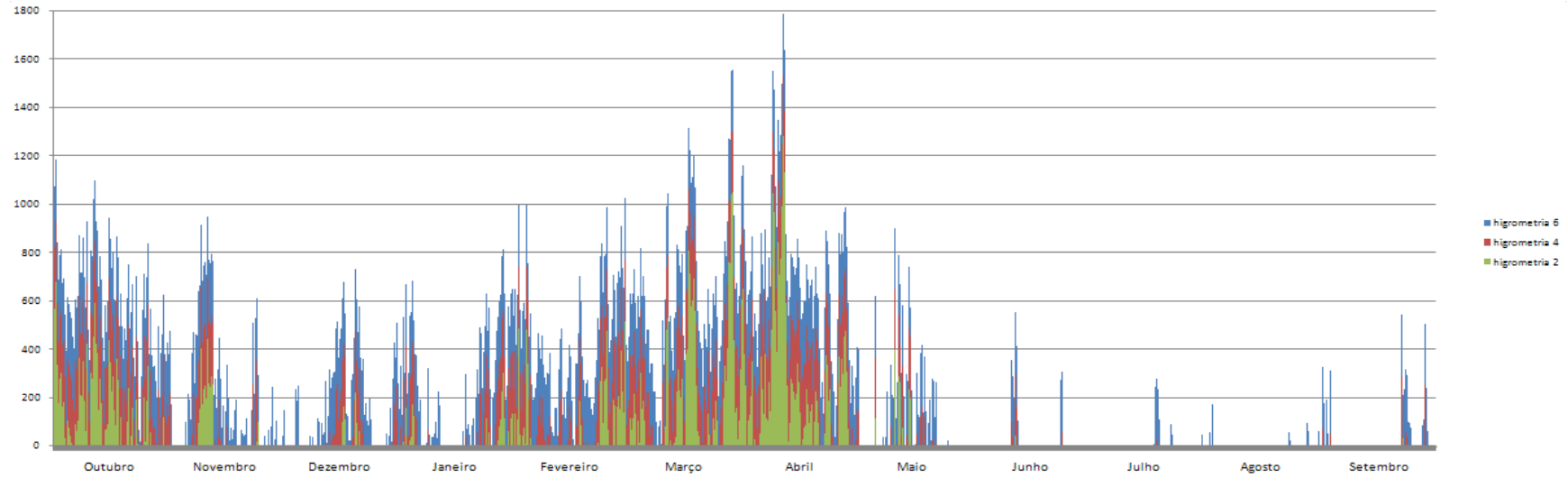
- [1] Luís Viegas Mendonça, Condensações em edifícios, *Arquitectura & Vida*”, nº 63, Set. 2005.
- [2] Freitas, Vasco Peixoto de, Pinto, Paulo da Silva. Permeabilidade ao vapor de materiais de construção – Condensações internas, Nota de informação técnica – NIT 002 – LFC 1998.
- [3] Ramos, Nuno Manuel Monteiro. *A importância da inércia higroscópica no comportamento higrométrico dos edifícios*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 2007
- [4] Costa, Maria de Fátima Barrozo da., Costa, Marco Ferreira. - ©INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente - v.1, n.2, Artigo 5, dez 2006.
- [5] Leal, Vitor, *Estratégias para o controlo da qualidade do ar interior – Ventilação*, Seminário “Qualidade do Ar interior”, MIT Portugal Program, Junho, 2009
- [6] TenWolde, Anton, *The moisture balance: Fundamentals*, Bugs, Mold & Rot, Workshop Proceedings, Maio, 1991
- [7] Viegas, João Carlos, *Ventilação natural em edifícios de habitação*, Artigo disponível no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995
- [8] Couasnet, Yves, *Les condensations dans les bâtiments - Guide pratique et éléments d'analyse*, 1991
- [9] Straube, John F., *Moisture in Buildings*, ASHRAE Journal, Janeiro, 2002
- [10] Programa de cálculo *Solterm*
- [11] Programa de simulação *Meteonorm*
- [12] Arens, Edward A, Bauman, Fred, *Comfort and Health Considerations: Air Movement and Humidity Constraints*, Center for the Built Environment UC Berkeley, 1995
- [13] Freitas, Vasco Peixoto de, *Ventilação*, documento da disciplina de Patologias e Reabilitação e de edifícios, LFC - FEUP, 2008
- [14] Wufi® Pro 4.2 IBP
- [15] Silva, Álvaro e Amorim, Ana; “*Estimação da Temperatura Média do Ar em Portugal Continental Utilização, Comparação e Avaliação de alguns Métodos de Interpolação em SIG*”, documento do ICIST – SIAP.

ANEXOS

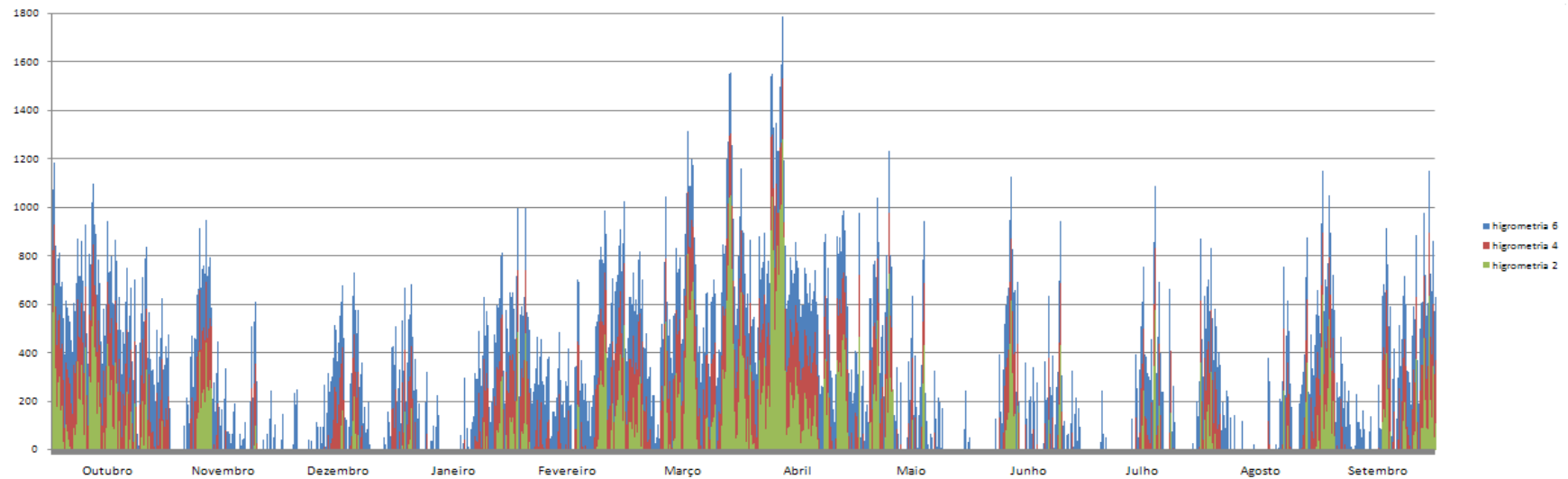
ANEXO A

Resultados numa parede de $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$ no PortoResultados numa parede de $U=0,65 \text{ W/m}^2\text{°C}$ em Braga.

Resultados numa parede de $U=2,0 \text{ W/m}^2\text{C}$ em Lisboa

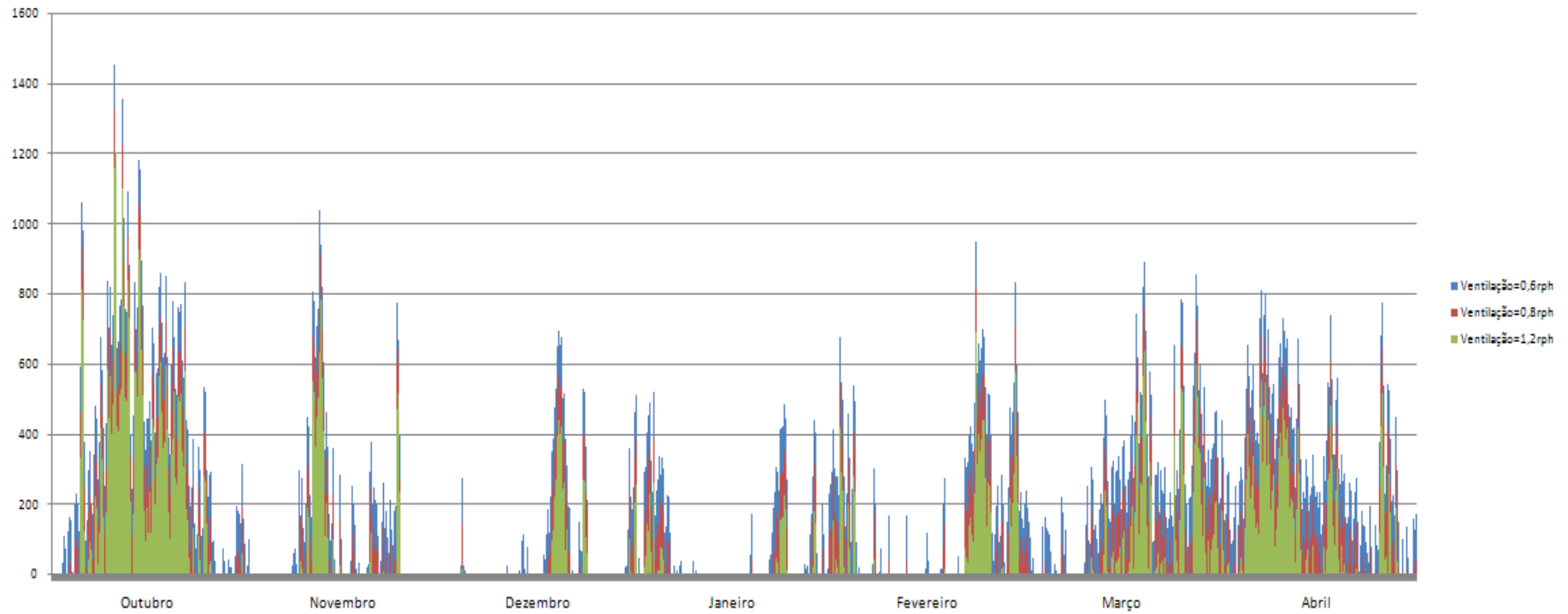


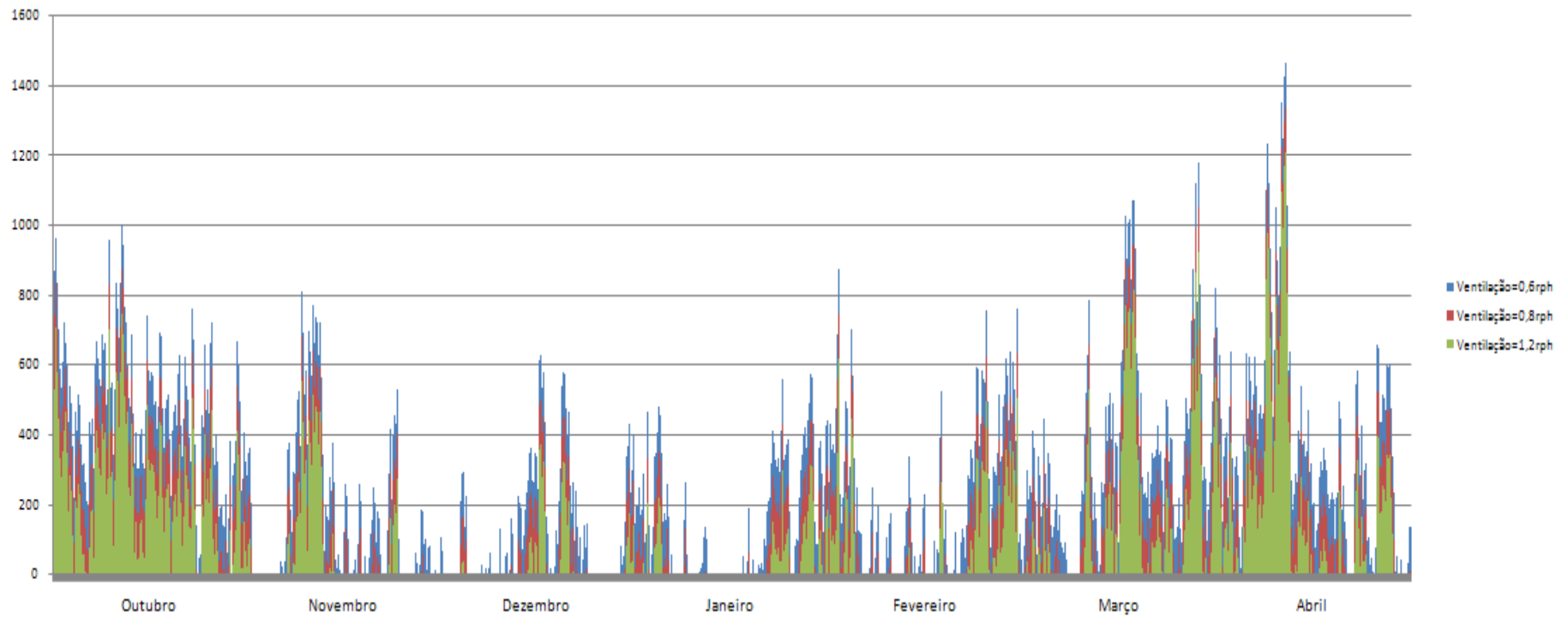
Resultados numa parede de $U=2,0 \text{ W/m}^2\text{C}$ em Bragança

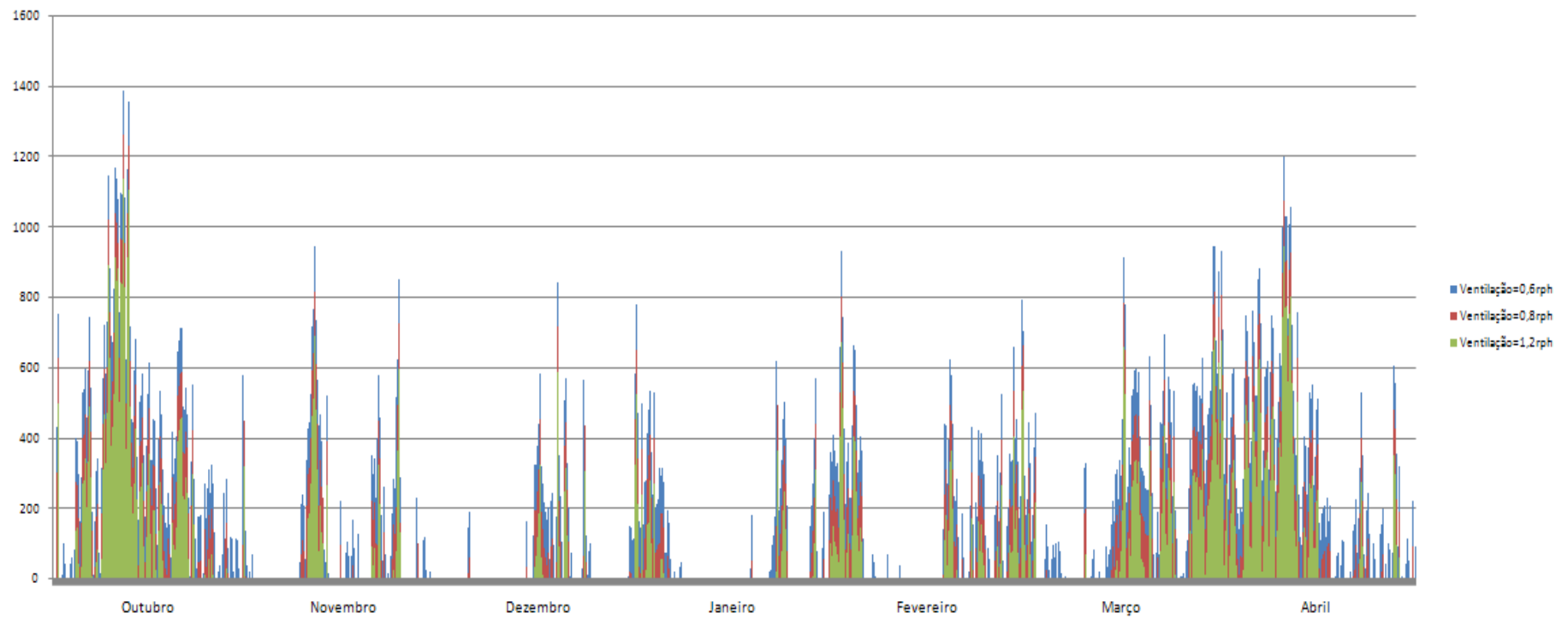


ANEXO B

ANEXO C

Resultados de diferentes renovações horárias no Porto numa parede com $U=0,65\text{W/m}^2\text{°C}$ 

Resultados de diferentes renovações horárias em Lisboa numa parede com $U=0,65\text{W/m}^2\text{°C}$ 

Resultados de diferentes renovações horárias em Braga numa parede com $U=0,65\text{W/m}^2\text{°C}$ 

Resultados de diferentes renovações horárias em Bragança numa parede com $U=0,65W/m^2\text{°C}$

