



A climatização inteligente

Relatório sobre o modelo  
de zoneamento da  
**Airzone** e a comparação  
com um sistema não  
distribuído por zonas



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## MODELO DISTRIBUÍDO POR ZONAS DA AIRZONE. ESTUDO DE CASO

### 1. Introdução

A tendência dos hábitos de vida dos países industrializados, em que as pessoas passam a maior parte do tempo em lugares fechados, supõe mudanças significativas tanto no consumo do edifício, como nas exigências de conforto térmico, iluminação e qualidade do ar interior, bem como na forma de gerir estes serviços. A Diretiva 2012/27/UE [1] calcula que 40% do consumo final de energia ocorre nos edifícios e que, aproximadamente, 50% se deve aos sistemas de refrigeração e aquecimento.

O objetivo deste estudo é demonstrar como a implementação de sistemas de controlo inteligentes nas instalações de climatização, contribui de modo eficaz para a eficiência energética de um edifício. O estudo centra-se, especialmente, no setor residencial e nos serviços de baixa e média potência, onde frequentemente são utilizados sistemas tudo-ar com máquinas Inverter de expansão direta e uma rede de condutas de caudal constante. A corporação Altra, através da sua divisão Airzone, sugere avaliar a conveniência deste tipo de sistema, do ponto de vista do conforto dos residentes, demanda térmica e consumos elétricos anuais, em relação a um sistema Inverter convencional não distribuído por zonas.

### 2. Sistemas de controlo distribuídos por zonas da Airzone

No setor residencial e de serviços de baixa e média potência são utilizados com frequência sistemas tudo-ar, com máquinas Inverter de expansão direta e uma rede de condutas de caudal constante. Este tipo de sistema baseia-se no controlo da temperatura de uma única zona, de modo que a temperatura se mantém dentro do intervalo de conforto. Nas demais zonas, mesmo que o projeto da rede de condutas tenha sido bem realizado e a potência do equipamento seja a máxima, se não possuem um perfil de carga similar ao da zona de controlo (uso, orientação, cargas térmicas, etc.), as temperaturas podem situar-se fora do intervalo de conforto.

Como uma alternativa, os **sistemas distribuídos por zonas** baseiam-se no controlo independente da temperatura de cada uma das zonas. Para isso, instala-se um termostato em cada divisão para conhecer a demanda térmica em cada uma e selecionar uma temperatura de referência independente, de acordo com as preferências do usuário. Desta modo, quando a temperatura de uma zona alcança a temperatura de referência, é enviado um sinal de controlo ao registo motorizado da zona, para que feche e interrompa o fornecimento de ar condicionado. A figura 1 mostra um esquema de um sistema distribuído por zonas.



*Figura 1. Esquema de um sistema distribuído por zonas.*

Além do zoneamento térmico, o funcionamento do sistema de controlo da Airzone baseia-se no **gateway de comunicação**. Para alcançar um alto nível de conforto e uma redução do consumo elétrico, é necessário que a comunicação entre o sistema de zonas e o equipamento de climatização seja adequada. O gateway de integração é o dispositivo que permite esta comunicação bidirecional entre a central de controlo e o equipamento. A Airzone tem convénios com os principais fabricantes, que fornecem os protocolos de comunicação de suas máquinas, o que permite ter informação dos parâmetros de funcionamento das mesmas e realizar as seguintes ações:

- Ligação e desligamento da máquina.
- Troca de modo de funcionamento.

O modo de funcionamento do equipamento (refrigeração, aquecimento ou ventilação) será definido pelo termostato mestre da instalação. As zonas que estiverem em inversão térmica, isto é,

com uma demanda oposta ao modo de funcionamento do equipamento, ficarão fechadas.

- Controlo da velocidade do ventilador da unidade interior da máquina.

Regulado pelo algoritmo Q-Adapt, o caudal impulsionado pelo ventilador da unidade interior é ajustado mudando de forma dinâmica a sua velocidade.

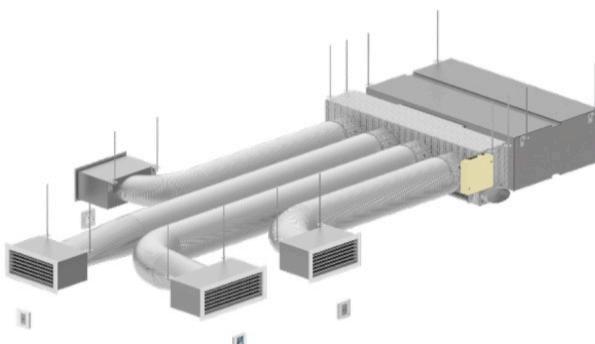
- Limitação da temperatura de referência da zona.

Regulado pelo algoritmo Eco-Adapt, que controla a temperatura de referência nas diferentes zonas e limita a temperatura máxima ou mínima que pode ser selecionada, de acordo com o modo calor ou frio, respetivamente. O modo A fixa o intervalo de temperatura máxima no inverno em 22°C e de temperatura mínima no verão em 24°C, o modo A+ em 21,5°C e 25°C e o modo A++ em 21°C e 26°C.

- Controlo da temperatura de referência da máquina.

Regulado pelo algoritmo Efi-Adapt (funcionalidade do Eco-Adapt para equipamentos ar-ar), controla de forma dinâmica a temperatura de referência do equipamento, segundo a temperatura de cada zona e a de retorno à máquina, considerando o efeito da inércia térmica de cada zona.

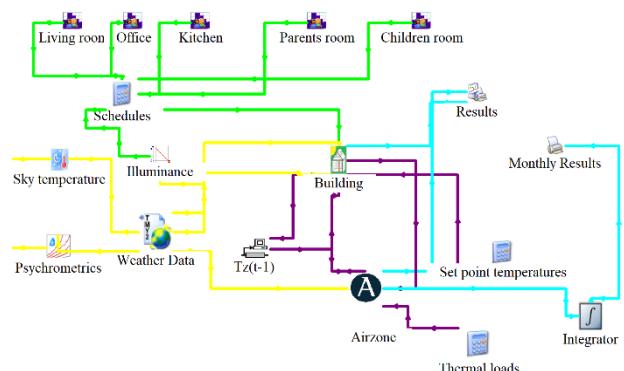
A figura 2 mostra um esquema gráfico de um sistema de condutas distribuído por zonas num edifício, com a central de controlo e o gateway de comunicação.



**Figura 2.** Esquema de um sistema distribuído por zonas.

### 3. Implementação dos modelos no TRNSYS

Este estudo foi realizado utilizando o programa TRNSYS [2], que é uma referência na investigação de instalações termoenergéticas. Os modelos matemáticos de todos os sistemas de climatização definidos na secção anterior foram implementados nesta plataforma de cálculo. Estes modelos foram obtidos através dos ensaios experimentais de um equipamento de expansão direta, numa câmara climática dupla. A ideia é determinar o comportamento do equipamento no mesmo intervalo de condições de funcionamento de uma instalação real. Deste modo, a relação entre o edifício e o sistema será a ideal (figura 3).



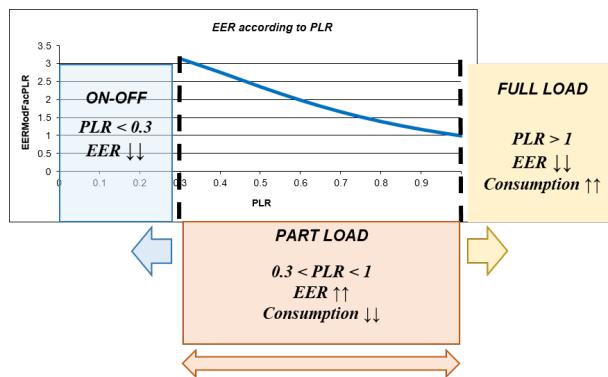
**Figura 3.** Montagem do sistema distribuído por zonas no TRNSYS.

Na modelagem de um equipamento Inverter de expansão direta, para caracterizar o comportamento do equipamento, é necessário considerar que o modo de funcionamento, o rendimento do equipamento e o consumo eléctrico requerido é diferente, segundo as condições de operação. Com este objetivo, foram realizados experimentos com uma unidade deste tipo e foram obtidas as diferentes curvas de comportamento características, com os respectivos coeficientes.

Um equipamento bInverter é capaz de regular seu regime de funcionamento, para ajustar a produção de energia térmica à demanda. O fator de carga parcial (PLR) foi definido como a relação entre a carga sensível demandada e a carga máxima que o equipamento é capaz de proporcionar, nas mesmas condições de funcionamento:

$$PLR = \frac{Q_{demand}}{Q_{sens,max}}$$

A figura 4 mostra os 3 regimes de funcionamento de um equipamento Inverter, com a evolução do rendimento do equipamento segundo o fator de carga parcial.



**Figura 4.** Esquema dos diferentes regimes de funcionamento de um equipamento Inverter.

Os regimes de funcionamento são os seguintes:

- Para valores de PLR inferiores a 0,3, como o caudal mássico de refrigerante não pode reduzir-se de forma arbitrária, existe uma velocidade mínima segundo a qual o equipamento para de funcionar como um sistema Inverter e torna-se um tudo/nada.
- Com o PLR entre 0,3 e 1, o equipamento funciona com carga parcial e obtém-se valores de EER (Índice de eficiência energética, na sigla em inglês) elevados.
- Com PLR maiores que um, o equipamento funciona com carga total e o rendimento reduz-se de forma significativa.

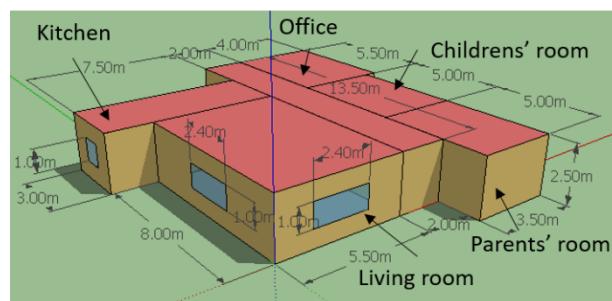
#### 4. Resultados. Estudo de caso

O objetivo deste estudo é comparar a conveniência de um sistema Inverter distribuído por zonas, com as diferentes configurações de controlo propostas pela Airzone, com um sistema Inverter não distribuído por zonas. Os critérios de comparação utilizados são o consumo eléctrico anual e o nível de conforto de cada um deles. Deste modo, esta secção está dividida em

duas partes, por um lado a comprovação dos níveis de conforto, e por outro o estudo do consumo eléctrico anual associado.

#### Estudo de caso

A casa do estudo (figura 5) possui cinco zonas climatizadas (sala de estar, cozinha, escritório, quarto dos pais e quarto dos filhos), com uma superfície de 121 m<sup>2</sup>, considerando o resto como uma única zona não equipada. A simulação foi realizada em diferentes cidades europeias: Milão, Paris, Munique e Londres.



**Figura 5.** Planta da casa. Representação em 3D com medições.

Os fechamentos são representativos das diferentes normas de cada país. A tabela 1 mostra os valores do coeficiente global de transferência de calor dos diferentes fechamentos da casa.

CIDADE	NORMA	PAREDE	TETO	PAVIMENTO	JANELA
Paris	RT 2005 [3]	0,24	0,658	0,658	1,14
Munique	EnEv 2009 [4]	0,28	0,2	0,35	1,3
Londres	Building regulations 2013 [5]	0,18	0,13	0,13	1,4
Milão	D. Lgs. N. 192 de 19 de agosto de 2005 [6]	0,34	0,33	0,3	2,2

**Tabela 1.** Valores limite de U.

Utiliza-se um perfil típico de ocupação em edifícios residenciais para determinar o cálculo dos ganhos internos: pessoas, iluminação e equipamentos (tabela 2).

ZONA	SALA DE ESTAR	COZINHA	ESCRITÓRIO	QUARTO DOS FILHOS	QUARTO DOS PAIS
	O/I/E	O/I/E	O/I/E	O/I/E	O/I/E
00h - 07h	0/0/0	0/0/300	0/0/0	2/0/0	2/0/0
07h - 07h30	0/0/0	1/5/300	0/0/0	2/0/0	1/0/0
07h30 - 08h	0/0/0	1/5/770	0/0/0	1/5/0	1/0/0
08h - 10h	1/5/100	1/5/770	0/0/0	1/5/0	0/0/0
10h - 16h	1/0/100	1/0/300	0/0/0	1/0/250	0/0/0
16h - 17h	2/0/100	1/0/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
17h - 19h	1/5/100	1/5/300	1/5/250	0/0/0	0/0/0
19h - 20h	1/5/100	1/5/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
20h - 20h30	3/5/100	1/5/770	0/0/0	0/0/0	0/0/0
20h30 - 23h	4/5/100	0/0/300	0/0/0	0/0/0	0/0/0
23h - 24h	0/0/0	0/0/300	0/0/0	2/0/0	2/5/0

**Tabela 2.** Perfil de utilização da casa. (Nível de atividade ISO 7730:2005 [7]. O: Ocupação, I: Iluminação, E: Equipamento).

Estabeleceu-se para os caudais de ventilação de ar exterior uma taxa de 0,6 renovações/hora em todos os códigos, com exceção da cozinha, que é de 5,7 renovações/hora.

### Cálculo das cargas. Dimensionamento dos equipamentos

O dimensionamento do equipamento é realizado considerando que o intervalo de conforto do usuário estará entre  $22^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{inf}}$ ) e  $24^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{sup}}$ ).

Num sistema **não distribuído por zonas**, a rede de distribuição não possui nenhum elemento que permita considerar separadamente as necessidades de cada zona. Deste modo, para assegurar a possibilidade de alcançar a carga máxima em todas elas, a potência nominal do equipamento deve ser considerada como igual ou superior à soma das cargas sensíveis máximas das zonas, mesmo que não sejam simultâneas.

Pelo contrário, num sistema distribuído por zonas, a rede de distribuição de ar possui registos motorizados que permitem ajustar o fornecimento térmico do sistema à demanda de cada zona, separadamente. Assim, o equipamento deve ser dimensionado considerando a carga sensível

máxima simultânea das zonas, isto é, para cada intervalo de tempo são somadas as cargas de todas as zonas e o equipamento é dimensionado a partir do máximo anual para refrigeração e aquecimento.

A tabela 3 mostra as cargas máximas e simultâneas para as quatro cidades.

SISTEMA		NÃO DISTRIBUÍDO POR ZONAS	DISTRIBUÍDO POR ZONAS
CIDADE	CARGAS (W)	MÁXIMAS	SIMULTÂNEAS
Paris	$Q_{\text{REF}}$	7646	6129
	$Q_{\text{AQUE}}$	-7793	-7883
Milão	$Q_{\text{REF}}$	6891	5505
	$Q_{\text{AQUE}}$	-6022	-5929
Londres	$Q_{\text{REF}}$	6872	5322
	$Q_{\text{AQUE}}$	-5554	-5545
Munique	$Q_{\text{REF}}$	1374	1986
	$Q_{\text{AQUE}}$	-4339	-4671
EQUIPAMENTO		PUHZ-RP125	PUHZ-RP100GA

**Tabela 3.** Resumo das cargas térmicas.

Segundo as cargas obtidas, os equipamentos foram dimensionados de acordo com os diferentes modelos da gama Sky Air Seasonal Classic da Daikin [8], como se pode ver na tabela 4.

CIDADE / EQUIPAMENTO	DISTRIBUÍDO POR ZONAS	NÃO DISTRIBUÍDO POR ZONAS
Paris	BQ60D	BQ60D
Milão	BQSG71D	BQSG71D
Londres	BQ50D	BQ50D
Munique	BQ50D	BQ50D

**Tabela 4.** Dimensionamento dos equipamentos.

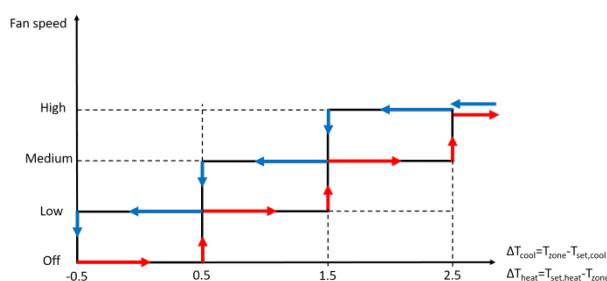
Como são cidades com clima muito frio e com valores de transmitância térmica muito restritos, a aplicação do sistema de controlo distribuído por zonas não reduz a potência do equipamento de climatização, e por isso o estudo comparativo realiza-se com a mesma potência do equipamento em ambos casos.

## Resultados. Conforto térmico

### Avaliação do conforto térmico

Os resultados do conforto centram-se exclusivamente na comparação da temperatura da zona, entre os sistemas distribuídos por zonas e os não distribuídos.

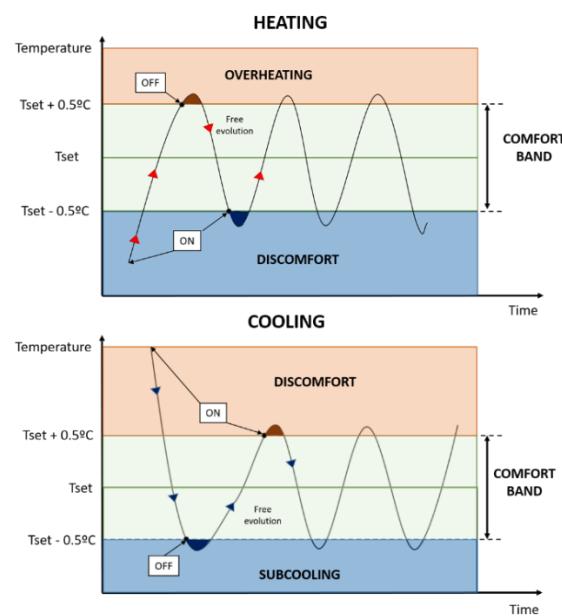
O controlo da temperatura da zona num **sistema não distribuído por zonas** depende da demanda da sala de estar, que é a zona mestre onde está situado o termostato da máquina, e é regulado de acordo com a temperatura de referência estabelecida nesta zona, e o comportamento térmico das demais zonas depende das condições determinadas (cargas internas, ganho solar, etc.), nesse momento. Ao contrário do sistema distribuído por zonas, no qual a velocidade do ventilador é escolhida por meio do algoritmo Q-Adapt, num sistema não distribuído por zonas a velocidade do ventilador varia segundo a diferença de temperatura entre a temperatura de referência da zona mestre e a temperatura desta zona. O gráfico na figura 6 mostra um exemplo de um ventilador de 3 velocidades.



**Figura 6.** Seleção da velocidade do ventilador para um sistema não distribuído por zonas.

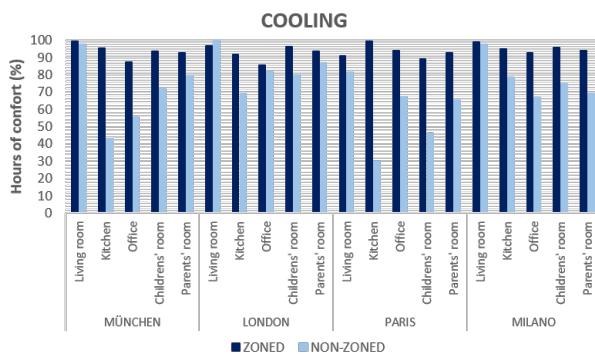
Ao contrário do sistema não distribuído por zonas, com um sistema distribuído por zonas o usuário é quem decide a temperatura de referência desejada em cada zona, e se o modo de operação é de

aquecimento ou de refrigeração. Baseado na temperatura de referência, o sistema estabelece uma faixa de conforto de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , de modo que uma zona está em conforto quando sua temperatura está no intervalo definido por ela. Este comportamento é estabelecido para evitar que os atuadores mudem constantemente de posição em caso de pequenas variações de temperatura. A figura 7 mostra o comportamento típico da temperatura da zona com o controlo distribuído por zonas, em modo aquecimento e modo refrigeração.



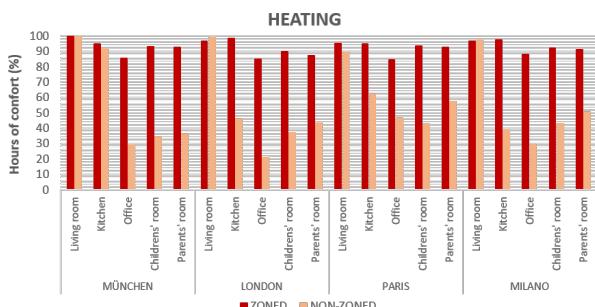
**Figura 7.** Avaliação do conforto térmico num sistema distribuído por zonas.

Para poder realizar a comparação do sistema distribuído por zonas com o não distribuído por zonas, para os modos de refrigeração e de aquecimento, foram comparadas as percentagens de horas em que ambos os sistemas estavam numa faixa de conforto de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (figuras 8 e 9).



**Figura 8.** Comparação da percentagem de horas de conforto em modo refrigeração.

Os resultados demonstram que, nas quatro cidades, o sistema não distribuído por zonas é capaz de manter o conforto na zona da sala de estar, mas a percentagem de horas de conforto diminui nas demais zonas de forma significativa, devido à incapacidade do sistema de adaptar a potência de refrigeração a cada uma das zonas, de acordo com a sua demanda térmica. Por outro lado, o sistema distribuído por zonas é capaz de manter em todas as zonas de forma independente, com valores superiores a 90% de conforto.

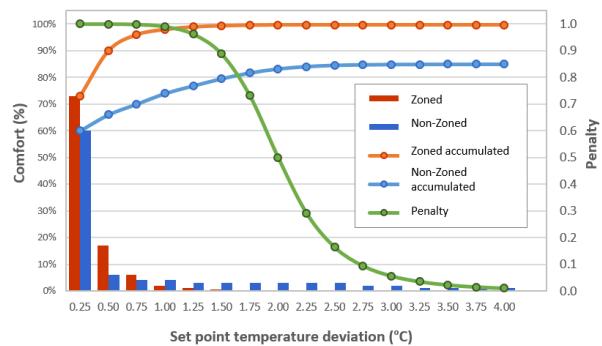


**Figura 9.** Comparação da percentagem de horas de conforto em modo aquecimento.

As conclusões para o modo aquecimento (figura 9) são similares às do caso anterior, no qual o sistema não distribuído por zonas consegue um conforto elevado na zona da sala de estar e diminui nas demais zonas do edifício. No entanto, para o sistema distribuído por zonas, obtém-se uma percentagem de conforto inferior a 90% na zona do escritório, devido à grande inércia térmica que deve superar por causa da grande quantidade de horas sem climatizar.

Etiqueta de conforto térmico. Desvio em relação à temperatura de referência

Para conhecer a distância térmica da zona em relação à referência de conforto, definiu-se a chamada Escala de conforto. Como a classificação energética, esta escala consiste numa designação alfabética no intervalo [A, G], sendo A a classificação mais favorável, e G a mais desfavorável, de acordo com o valor do indicador de conforto (IC), obtido em cada zona ou no edifício, que permite reduzir o conforto segundo a diferença existente entre a temperatura da zona e a temperatura de referência. A figura 10 mostra o IC (%) do edifício para diversos desvios da temperatura de referência, tanto para o sistema distribuído por zonas como para o não distribuído por zonas.



**Figura 10.** Avaliação do indicador de conforto (IC).

O IC é calculado utilizando a seguinte equação:

$$IC(\%) = \sum_{i=1}^{N_{desviaciones}} Conforto_{Edif,\Delta T=desviacion_i} \cdot Penalizacion_i$$

na qual a variável Conforto<sub>Edif,ΔT</sub> mede o desvio e a função Redução (curva verde da figura 10) reduz o conforto segundo  $t_i$  que é o desvio  $i$  em relação à referência, isto é, a diferença entre a temperatura da zona e a temperatura de referência.

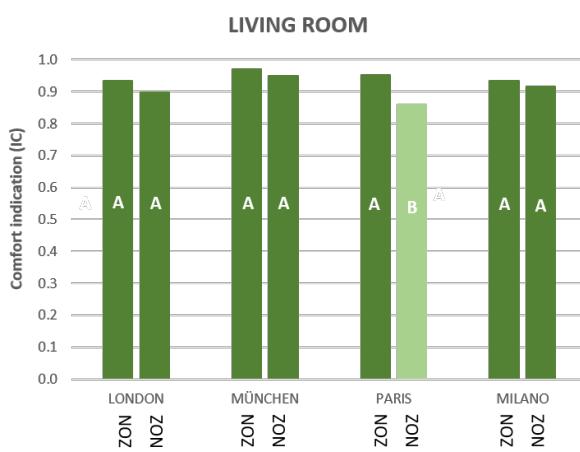
A escala final é mostrada na figura 11.



**Figura 11.** Escala de conforto segundo o indicador de conforto (IC).

A seguir, mostramos a comparação de conforto em cada uma das zonas do edifício para o modo de aquecimento, já que a refrigeração é menos importante nestas cidades, baseado na escala de conforto, nas quatro cidades analisadas.

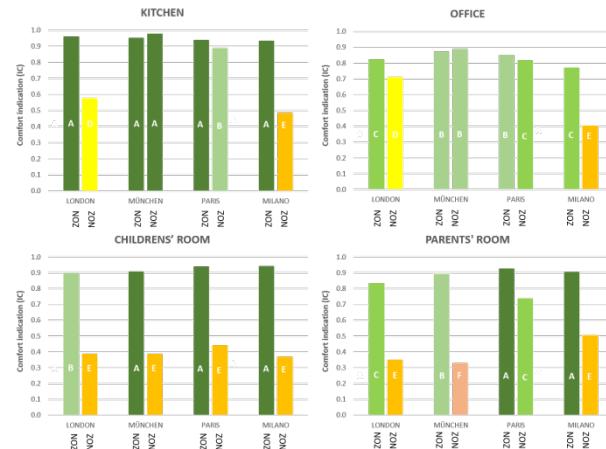
A figura 12 mostra os resultados da etiqueta de conforto para a zona da sala de estar. Para cada mês compara-se o sistema distribuído por zonas (ZON) e um sistema não distribuído por zonas (NOZ).



**Figura 12.** Comparação da etiqueta de conforto para a sala de estar em modo aquecimento.

Observa-se que as diferenças da etiqueta energética entre o sistema distribuído por zonas e o não distribuído por zonas para a sala de estar são muito pequenas, já que no sistema não distribuído por zonas o termostato mestre está na sala de estar e o sistema é capaz de manter o conforto nesta zona sem nenhum problema. No entanto, a comparação

para o resto das zonas do edifício é mostrada abaixo (figura 13).



**Figura 13.** Comparação da etiqueta de conforto para o resto das zonas do edifício em modo aquecimento.

Os resultados evidenciam diferenças notáveis de conforto entre ambos os sistemas. No sistema não distribuído por zonas, as etiquetas variam segundo as características térmicas de cada zona, onde ocorrem sobreaquecimentos, que pioram a etiqueta energética. Por outro lado, no distribuído por zonas, obtém-se, de um modo geral, um nível de conforto excelente com a etiqueta A e um IC superior ao do sistema não distribuído por zonas.

Finalmente, a figura 14 mostra o conforto global médio do edifício em modo aquecimento.



**Figura 14.** Comparação da etiqueta de conforto global do edifício.

A etiqueta global do edifício para um sistema distribuído por zonas é A em todas as cidades, excetuando Londres, onde a etiqueta é B, e o

sistema não distribuído por zonas obtém etiquetas C e D.

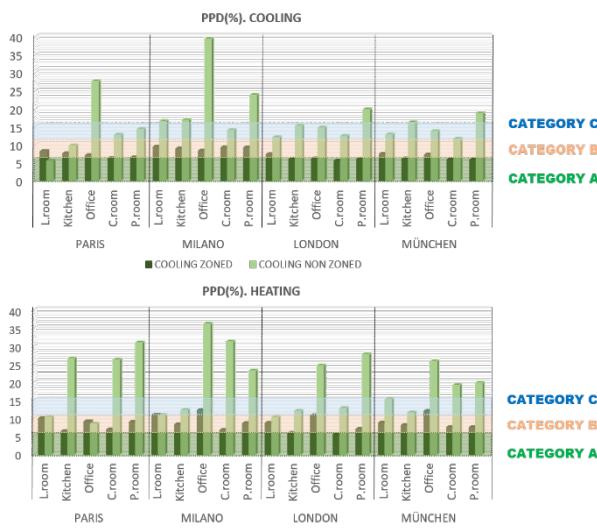
### Parâmetros de conforto: PMV e PPD

Em condições padrão de conforto associadas ao fator vestuário, à taxa metabólica e à velocidade relativa do ar realiza-se uma comparação dos parâmetros PPD e PMV, de acordo com a norma ISO 7730:2005 [7], de um sistema distribuído por zonas e de um sistema não distribuído por zonas. Segundo esta norma, os valores recomendados para proporcionar bem-estar térmico global a 90% dos usuários são os mostrados na tabela 5.

CATEGORIA	PPD (%)	PMV
A	< 6	-0,2 < PMV < 0,2
B	< 10	-0,5 < PMV < 0,5
C	< 15	-0,7 < PMV < 0,7

**Tabela 5.** Categorias do ambiente térmico segundo o PPD e o PMV.

A figura 15 mostra a comparação do parâmetro PPD, com destaque para a categoria de conforto obtida.



**Figura 15.** Comparação do PPD.

A tabela 6 mostra os resultados do PMV, com códigos de cores que permitem comparar os resultados de forma imediata.

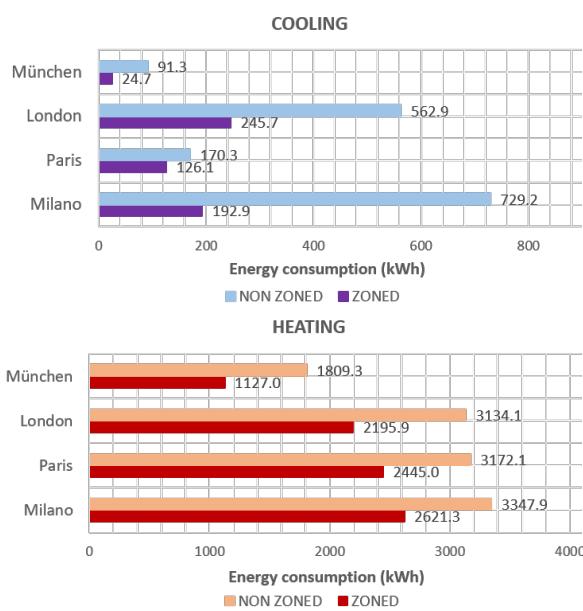
CITY	ZONE	PMV		HEATING	
		COOLING ZONED	COOLING NON ZONED	HEATING ZONED	HEATING NON ZONED
MILANO	Living room	-0.3	-0.5	0.5	0.5
	Kitchen	-0.2	-0.7	0.4	1.0
	Office	-0.2	-0.8	0.6	0.4
	Childrens' room	-0.2	-0.5	0.3	1.6
	Parents' room	-0.2	-0.8	0.4	1.1
PARIS	Living room	-0.2	-0.1	0.4	0.5
	Kitchen	-0.2	0.3	0.2	1.0
	Office	-0.3	-1.0	0.5	0.4
	Childrens' room	-0.1	-0.3	0.3	1.6
	Parents' room	-0.1	-0.5	0.4	1.1
LONDON	Living room	-0.3	-0.5	0.4	0.4
	Kitchen	-0.2	-0.6	0.3	0.3
	Office	-0.2	-0.6	0.4	0.7
	Childrens' room	-0.2	-0.5	0.2	0.5
	Parents' room	-0.2	-0.6	0.3	1.0
MÜNCHEN	Living room	-0.2	-0.4	0.4	0.7
	Kitchen	-0.1	-0.7	0.3	0.1
	Office	-0.3	-0.6	0.4	1.1
	Childrens' room	-0.1	-0.4	0.2	0.7
	Parents' room	-0.1	-0.4	0.2	0.8

**Tabela 6.** Comparação do PMV.

Num sistema distribuído por zonas, cumprem-se as exigências de conforto exigidas pela categoria mínima de B, com um PPD inferior a 10% e um PMV inferior a 0,5, em cada uma das zonas do edifício para as quatro cidades analisadas, enquanto o sistema não distribuído por zonas é capaz de obter bons resultados na zona da sala de estar, mas nas demais zonas ocorre um significativo sobrearrefecimento no modo refrigeração e sobreaquecimento no modo aquecimento.

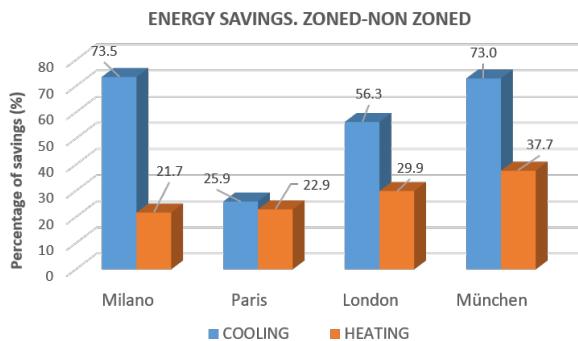
### Resultados. Consumo de energia

Após a avaliação do conforto térmico do edifício, o seguinte passo consiste na comparação do consumo elétrico de um sistema de climatização distribuído por zonas e de um não distribuído por zonas. Graças às estratégias de controlo e à gestão da instalação de climatização realizada pelo sistema Airzone conseguimos uma poupança no consumo energético e, portanto, uma redução das emissões de carbono. A figura 16 mostra os resultados obtidos na comparação destes sistemas nas distintas cidades estudadas.



**Figura 16.** Comparação do consumo elétrico em modo refrigeração e aquecimento.

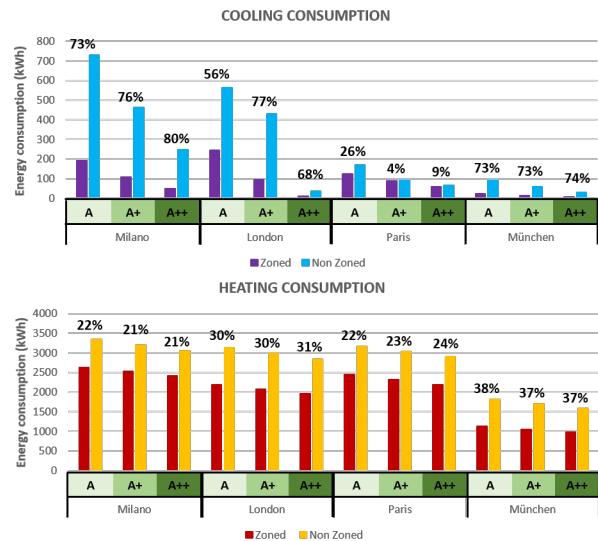
Em todos os casos, o consumo de climatização é mais baixo num sistema distribuído por zonas que num sistema não distribuído por zonas. Os valores obtidos estão dentro dos limites de consumos máximos estabelecidos pelas diferentes normas. As razões estão explicadas detalhadamente neste relatório: a redução da potência térmica do sistema de climatização, a regulação da velocidade do ventilador e a adaptação da temperatura de referência da máquina por meio do Eco-Adapt. As diferenças de consumo estão claramente indicadas nas poupanças conseguidas em cada um dos casos, mostradas na figura 17.



**Figura 17.** Percentagem de poupança de energia em modo aquecimento e refrigeração.

Nas quatro cidades analisadas houve poupanças significativas na climatização. Na refrigeração, as percentagens de poupança são maiores, chegando a 73% em Milão ou Munique, embora os valores de consumo sejam menos importantes. No entanto, no aquecimento, podemos ressaltar que em Milão ou Paris a poupança é de 21 a 22%, e em Londres e Munique os valores chegam a ser 30 e 38%, respectivamente.

Finalmente, avaliamos o potencial de poupança de energia do algoritmo Eco-Adapt para as quatro cidades analisadas. A figura 18 mostra os resultados num gráfico, no qual se pode comprovar as melhorias da eficiência energética dos sistemas Inverter distribuídos por zonas estudados.



**Figura 18.** Comparação do consumo de energia de acordo com o Eco-Adapt.

Com a aplicação do algoritmo Eco-Adapt consegue-se uma redução do consumo de energia, se a temperatura de referência for aumentada no modo refrigeração ou reduzida no modo aquecimento. As poupanças são de 22 a 37% em aquecimento, e na refrigeração os valores percentuais são elevados, embora os valores absolutos sejam mais baixos.

## 5. Conclusões

O objetivo do estudo era analisar detalhadamente o comportamento do sistema de controlo de climatização do Airzone, baseado no zoneamento

térmico e compará-lo com um sistema não distribuído por zonas. O documento está estruturado em diferentes secções, que descrevem o sistema de zoneamento e os algoritmos de controlo, explica a modelagem do equipamento com as curvas de comportamento em carga parcial, obtidas de modo experimental, e a implementação do modelo do equipamento de expansão direta, com o controlo do Airzone no software Trnsys, que é o ambiente de simulação do estudo.

As conclusões do estudo descrevem as principais vantagens nas diferentes comparações realizadas entre um sistema distribuído por zonas e um sistema não distribuído por zonas em relação ao conforto térmico, consumo de energia elétrica e energia térmica. As conclusões são explicadas a seguir:

1. A utilização de um sistema Inverter com zoneamento integrado em relação a um sistema Inverter não distribuído por zonas, implica uma **redução da energia térmica** e, portanto, a possibilidade de adaptar a potência do equipamento com maior precisão de acordo com a demanda térmica. Em cidades de climas frios com valores de transmitância térmica baixos, obtém-se reduções da demanda térmica, embora não tão significativas como em outros climas, para reduzir a potência do equipamento.
2. O sistema distribuído por zonas monitora a temperatura de cada uma das zonas do edifício e permite ao usuário estabelecer as suas preferências de conforto. Demonstrou-se, em relação a um sistema não distribuído por zonas, que a percentagem de horas em que as zonas estão em **conforto térmico** é muito mais alta num sistema distribuído por zonas.
3. Numa primeira análise, foi realizada a comparação com **uma faixa de conforto de  $\pm 1^\circ\text{C}$**  em Paris, Milão, Londres e Munique. Os resultados demonstram que, nas quatro cidades, o sistema não distribuído por zonas pode manter o conforto na zona da sala de estar, mas a percentagem de horas de conforto diminui de forma considerável nas demais zonas do edifício. Por outro lado, o sistema distribuído por zonas pode mantê-lo em todas as zonas de forma independente.

4. Foi introduzido o conceito de **etiqueta de conforto**, utilizado para avaliar o conforto térmico reduzindo, num período de tempo determinado, o grau de conforto quando a temperatura está mais afastada da temperatura de referência estabelecida. A etiqueta global do edifício para um sistema distribuído por zonas é A em todas as cidades, exceto em Londres que é B, e o sistema não distribuído por zonas consegue etiquetas C e D.
5. Finalmente, para concluir o **estudo do conforto, foram calculados os parâmetros PPD e PMV**. Num sistema distribuído por zonas cumprem-se as exigências de conforto exigidas numa categoria mínima de B, com um PPD inferior a 10% e um PMV inferior a 0,5, em cada uma das zonas da casa para as quatro cidades analisadas, enquanto o sistema não distribuído por zonas obtém bons resultados na zona da sala de estar, mas nas demais zonas ocorre um significativo sobrerefecimento das zonas no modo refrigeração e sobreaquecimento no modo aquecimento.
6. Na comparação do consumo elétrico entre um sistema de climatização distribuído por zonas e um não distribuído por zonas, demonstraram-se significativas **poupanças de energia**, principalmente no aquecimento, por serem cidades situadas em climas frios.
  - ✓ Nas quatro cidades analisadas houve poupanças significativas na climatização. Na refrigeração os consumos são baixos e o sistema distribuído por zonas consegue percentagens de poupança de até 73% em Milão e Munique. No aquecimento as poupanças vão de 21 a 22% em Milão e Paris, até 30 a 37% em Londres e Munique.
  - ✓ O resultado mais importante da aplicação do algoritmo Eco-Adapt é a redução do consumo de energia, se a temperatura de referência for aumentada no modo refrigeração ou reduzida no modo aquecimento. Devemos destacar a poupança conseguida de 21 a 38% em aquecimento nas quatro cidades analisadas.

## Referências

- [1] Comissão Europeia. Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012 relativa à eficiência energética. Diário Oficial das Comunidades Europeias (2012), L 315/1.
- [2] TRNSYS <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>. (Acesso 02/01/2018).
- [3] The Réglementation Thermique 2012 (RT2012) ([www.rt-batiment.fr](http://www.rt-batiment.fr)). (Acesso 18/04/2019).
- [4] EnEV 09 ([http://www.enev-online.org/enev\\_2009\\_volltext/index.htm](http://www.enev-online.org/enev_2009_volltext/index.htm)). (Acesso 18/04/2019).
- [5] The Building (Amendment) Regulations 2013 (3 de junho de 2013). (<http://www.legislation.gov.uk/uksi/2013/1105/contents/made>). (Acesso 18/04/2019).
- [6] Lgs. N. 192 de 19/08/2005. Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia. <http://www.parlamento.it/parlam/leggi/delegg/e/05192dl.htm>
- [7] European standard EN ISO-7730:2005. Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- [8] DAIKIN Technical Document, Split Sky Air Seasonal Classic BQD. DAIKIN Industries Ltd. 2018.