

# **Controlo da humidade em espaços de banho: comparação da eficiência energética de diferentes estratégias**

*Filipe Alberto Vilaça Gomes*

**Relatório da Dissertação do MIEM**

Orientador na FEUP: Prof. Vítor Leal



**FEUP**

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

Junho de 2012



## Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da disciplina Dissertação do 5º Ano na opção de Energia Térmica do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Porto. Teve como objetivo comparar a eficiência energética de diversas estratégias adotadas no controlo da humidade em espaços de banho.

Em primeiro lugar foi definido quais as soluções típicas adotadas para controlar a humidade do ar num espaço de banho, que são ventilação com ar interior, ventilação com ar exterior e por fim desumidificação.

Para saber a quantidade de massa de vapor de água que é introduzida no ar durante um banho foi necessário criar um cenário de libertação de vapor, tendo efetuado algumas considerações e simplificações devido a variabilidade de fatores que influenciam na libertação do mesmo. De seguida realizou-se um estudo da evolução psicrométrica do ar devido à absorção do vapor que é libertado pelo banho, e daí foi calculada a quantidade de massa do mesmo que é possível absorver até se atingir a saturação do ar.

Foi realizado um estudo das condições psicrométricas do ar exterior, fazendo o tratamento dos dados recolhidos de temperatura e humidade relativa de cada hora do dia do mês de um ano típico na região do Porto. Pôde-se depois assim fazer uma seleção de condições de referência do ar exterior, para o cálculo do consumo energético na ventilação.

De seguida efetuou-se o cálculo do consumo de energia para cada solução típica de controlo da humidade num espaço de banho adotada, e para cada tipo de condições psicrométricas do ar exterior consideradas.

Com os resultados obtidos do consumo de energia no controlo da humidade de cada solução adotada, e na comparação dos mesmos, concluiu-se que a estratégia de controlo de humidade que requer menos energia anualmente é a utilização de um desumidificador; este resultado é válido para as diversas condições de referência do ar exterior consideradas.

A solução que mais requer energia é a ventilação com ar interior, porque este é primeiramente aquecido a uma temperatura de conforto no espaço do banho adjacente e também porque já absorveu vapor de água proveniente de plantas, respiração humana, entre outras fontes de libertação do mesmo.



## **Humidity control in bath spaces: Comparison the effectiveness of strategies**

### **Abstract**

This work was developed within the discipline “Thesis” of the 5th year in the option of Thermal Energy of the Master’s degree in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering of the University of Porto.

It had as objective to compare the efficiency of the strategies adopted in the control of the humidity in bath spaces.

In first place it was defined which one the typical solutions adopted to control the humidity of air in a bath space, ventilation with interior air, ventilation with outdoor air and finally dehumidification were identified as the main possibilities.

To find the mass quantity of steam that is introduced into the air during a bath it was necessary to create a setting of release of steam, having made some considerations and simplifications due to the variability of factors influencing its release. Then it was carried out a study of the psychrometric evolution of the air due to absorption of the steam that is released from the bath, and then calculated the amount of mass that can be absorbed up to the saturation of the air.

We conducted a study of outdoor air psychrometric conditions, processing the data collected from temperature and relative humidity every hour of the day of a typical year in the Porto city. This allowed to data make a selection of outdoor air reference conditions for the calculation of energy consumption for ventilation.

The next stage was to perform the calculation made in energy consumption for each typical solution of humidity control in a bath space adopted, and for each type of psychrometric outdoor air conditions considered.

With the results of energy consumption in the humidity control of each solution adopted, and the comparison thereof, it was found that the humidity control strategy which consumes less power annually is using a dehumidifier; this result was valid for all the outside air conditions.

The solution that requires more energy is the ventilation air inside, because it is first heated to a comfort temperature in the space adjacent the bath and also have absorbed water steam originating from plants, respiration from human and other sources of release thereof.



### **Agradecimentos**

Ao Professor Vitor Leal, desejo exprimir o meu reconhecimento e gratidão pela sua orientação, incentivo, paciência e disponibilidade sempre demonstrada.

Aos meus pais um especial agradecimento pelo total apoio em toda a minha vida.

Aos meus amigos e colegas que sempre me incentivaram e ajudaram, na minha vida académica.



## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
2	Estratégias típicas de controlo da humidade em espaços de banho .....	3
2.1	Ventilação com ar interior.....	3
2.2	Ventilação com ar exterior.....	4
2.3	Desumidificação por condensação .....	4
3	Libertação de vapor de um banho .....	5
3.1	Aspetos considerados na produção de vapor num banho .....	8
4	Estudo da evolução psicrométrica do ar interior da casa de banho.....	9
5	Estudo das condições psicrométricas do ar exterior em cada mês de um ano típico na região do Porto.....	13
6	Estudo do consumo energético de cada estratégia típica de controlo da humidade num banho 15	
6.1	Ventilação com ar interior.....	17
6.1.1	Consumo de energia com ar exterior nas condições adversas de cada mês .....	18
6.1.2	Consumo de energia com ar exterior nas condições médias de cada mês .....	19
6.1.3	Consumo de energia com ar exterior nas condições às 7:00 horas .....	20
6.1.4	Considerações adicionais sobre a ventilação com ar interior .....	21
6.2	Ventilação com ar exterior.....	21
6.2.1	Consumo de energia com ar exterior nas condições adversas de cada mês e com controlo da temperatura.....	22
6.2.2	Consumo de energia com ar exterior nas condições adversas de cada mês e sem controlo da temperatura.....	23
6.2.3	Consumo de energia com ar exterior nas condições médias de cada mês e com controlo da temperatura .....	24
6.2.4	Consumo de energia com ar exterior nas condições médias de cada mês e sem controlo da temperatura .....	25
6.2.5	Consumo de energia com ar exterior nas condições às 7:00 horas com controlo da temperatura .....	26
6.2.6	Consumo de energia com ar exterior nas condições às 7:00 horas sem controlo da temperatura .....	27
6.2.7	Considerações adicionais sobre a ventilação com ar exterior .....	28
6.3	Desumidificação por condensação .....	29
6.3.1	Desumidificação com ar de fronteira adiabática .....	29
6.3.2	Considerações adicionais sobre a desumidificação com ar de fronteira adiabática .....	35
6.3.3	Desumidificação com ar isotérmico .....	35
6.3.4	Considerações adicionais sobre a desumidificação com ar isotérmico .....	39
7	Comparação de resultados .....	41
8	Conclusões e possibilidades de trabalho futuro .....	47
9	Referências e Bibliografia .....	48

ANEXO A: Tabela da evolução do ar interior devido ao incremento da massa de vapor de água. ....	49
ANEXO B: Folha de cálculo do controlo da humidade por desumidificação com ar de fronteira adiabático .....	51
ANEXO C: Folha de cálculo do controlo da humidade por desumidificação com ar isotérmico .....	55

## Lista de símbolos

$\dot{m}_{ar}$	Caudal mássico de ar seco	[kg/s]
$\dot{m}_v$	Caudal mássico de vapor de água libertado	[kg/s]
$\dot{V}_{ar}$	Caudal volúmico de ar seco	[m <sup>3</sup> /s]
COP	Coefficiente de performance	[-]
$c_{p,ar}$	Calor específico a pressão constante por unidade de massa do ar	[kJ/kg.K]
$h$	Entalpia específica	[kJ/kg]
$H$	Entalpia	[kJ]
$h_{a,ab}$	Entalpia específica do ar após a absorção do vapor de água	[kJ/kg]
$h_{a,des.}$	Entalpia específica do ar após a desumidificação	[kJ/kg]
$h_{lv,45^\circ C}$	Calor latente de vaporização da água à temperatura de 45°C	[kJ/kg]
$h_{v,45^\circ C}$	Entalpia específica do vapor de água à temperatura de 45°C	[kJ/kg]
$m_{ar}$	Massa de ar seco	[kg]
$m_v$	Massa de vapor de água	[kg]
$m_{v,ab}$	Massa de vapor absorvida	[kg]
$m_{v,p}$	Massa de vapor de água libertado	[kg]
$m_{v,re.}$	Massa de vapor de água removida	[kg]
$\varnothing$ ou HR	Humidade relativa	[%]
$\dot{Q}_{.desu.}$	Potência térmica do desumidificador	[kW]
$p_{sat,T}$	Pressão de saturação à respetiva temperatura T	[Pa]
$p_v$	Pressão de vapor	[Pa]
$P_{ventilador}$	Potência consumida pelo ventilador	[kW]
$Q_s$	Calor sensível	[kJ]
$Q_{s.lib.}$	Calor sensível libertado pelo desumidificador	[kJ]
Rph	Taxa de renovação de ar por hora	[h <sup>-1</sup> ]
T	Temperatura	[°C]
t	Tempo	[s]
$t_{banho}$	Duração do banho	[s]
V	Volume	[m <sup>3</sup> ]
w	Humidade absoluta por kg de ar seco	[g/kg]
$w_{a,ab}$	Humidade absoluta do ar após a absorção do vapor de água	[g/kg]
$w_{a,des.}$	Humidade absoluta do ar após a desumidificação	[g/kg]
$\rho_{ar}$	Massa volúmica do ar seco	[kg/m <sup>3</sup> ]



## 1 Introdução

Em qualquer habitação existe um espaço para higiene pessoal, mais especificamente para tomar banho. Normalmente o banho é realizado por meio de um chuveiro de água quente.

É do senso comum que quando se toma um banho ao fim de algum tempo começa a aparecer uma neblina de vapor que paira no ar. Quando esta neblina entra em contacto com superfícies frias, como por exemplo um espelho, dá origem a condensações. O aparecimento dessa neblina acontece porque o ar já não tem capacidade de absorver o vapor que é libertado pela água quente do chuveiro, e quando esse ar saturado entra em contacto com superfícies frias ele arrefece e condensa o vapor que tinha acumulado.

Também existe por vezes dificuldades em manter as toalhas secas, porque estas absorvem o vapor de água contido no ar, ou até mesmo dificuldades em respirar e transpirar, dando a sensação de que está muito calor mesmo sendo a temperatura do ar amena; isto acontece porque quando o mesmo já se encontra saturado, o suor libertado pelo corpo não consegue evaporar. Para evitar a saturação do ar existente no espaço do banho, foram criadas soluções para controlar a humidade excessiva que existe durante a realização de um banho.

As soluções típicas que se utilizam para controlar a humidade dentro do espaço do banho são:

- 1) Ventilação com ar interior;
- 2) Ventilação com ar exterior sendo este aquecido ou não;
- 3) A colocação de um desumidificador com regulação da humidade relativa.

Em cada uma das soluções adotadas existe um consumo energético associado. O principal objetivo deste trabalho é a verificar qual das estratégias adotadas origina menos consumo de energia.

Para fazer o cálculo do consumo energético de cada estratégia de controlo da humidade do ar num banho foi necessário em primeiro lugar criar um cenário de produção de vapor, para depois estudar a evolução psicrométrica do ar com sua adição, ou seja verificar a quantidade de massa de vapor que o ar pode absorver até saturar, e depois dentro da gama de humidade relativa mínima e máxima aceitável, definir a quantidade de massa de vapor que é necessária retirar.

Foi necessário fazer algumas considerações e simplificações na produção de vapor de um banho nomeadamente, definir o estado psicrométrico inicial do ar, as dimensões do volume de controlo, o tipo de sistema (fechado e adiabático), a temperatura da água do chuveiro e o tempo de um banho. Foram desprezados possíveis condensações nas envolventes do volume de controlo.

Para a ventilação, quer seja com ar interior ou exterior, fez-se um estudo da gama de temperatura e humidade relativa do ar exterior de cada mês de um ano típico na região do Porto. Com o tratamento dos dados da temperatura e humidade relativa do ar exterior de cada mês, escolheram-se três condições do ar exterior que são:

- 1) Condições do ar exterior adversas em que a temperatura é a mais baixa e humidade relativa elevada possível;
- 2) Condições do ar exterior médias onde se fez uma média da temperatura e humidade relativa de cada mês no ano, e por último;
- 3) Condições do ar exterior às 7:00 horas em que se fez uma média da temperatura e humidade relativa à hora respetiva de cada dia do mês do ano.

Também na ventilação se teve em conta que o ar exterior pode ser ou não aquecido, e que este aquecimento é feito por meio de um aquecedor elétrico.

No controlo da humidade por meio de um desumidificador, houve a necessidade de fazer o cálculo do consumo energético com duas simplificações no processo da remoção de vapor que são:

- 1) Desumidificação com ar de fronteira adiabática: O ar interior não troca calor com as envolventes em que está confinado.
- 2) Desumidificação com ar isotérmico: Todo o calor sensível libertado pelo desumidificador é “transportado” para as envolventes do espaço, o ar permanece a temperatura constante.

O resultado real do consumo da energia estará entre os valores obtidos nos dois processos simplificados.

Efetuados os cálculos do consumo energético para cada mês do ano, de cada estratégia típica adotada para o controlo da humidade num banho, assumiu-se que são realizados dois banhos por dia todos os dias do ano. Realizou-se então uma comparação de consumo energético anual de cada estratégia adotada.

Com a comparação dos resultados do consumo anual de energia chegou-se à conclusão que a estratégia que menos consome energia é a utilização de um desumidificador. Esta pode ainda ter uma outra vantagem que é, se o desumidificador possuir um depósito de armazenamento de condensados, o vapor que é condensado no processo de desumidificação pode depois ser reaproveitado para descargas na sanita da casa de banho, na rega de plantas, ou em atividades de limpeza doméstica.

## 2 Estratégias típicas de controlo da humidade em espaços de banho

### 2.1 Ventilação com ar interior

O controlo da humidade durante um banho pode ser efetuado por ventilação com ar interior de um espaço adjacente ao que se está a realizar o banho. Este processo consiste em um ventilador que se encontra dentro da casa de banho, que extrai para o exterior o ar saturado situado dentro da mesma. O ar saturado é substituído pelo ar interior do espaço adjacente que atravessa as frinchas (infiltrações) da porta de entrada ou até mesmo por uma grelha colocada na porta para melhorar a passagem do ar interior, como se pode observar na Figura 1.

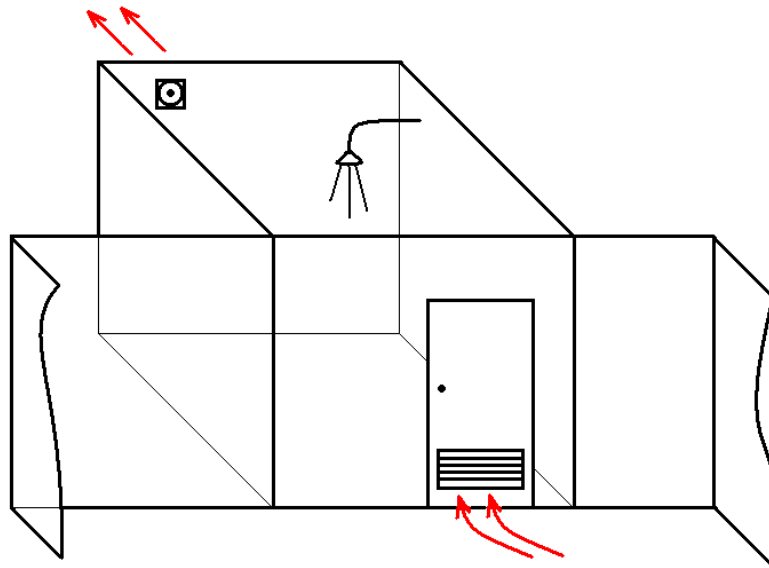


Figura 1 – Exemplo da ventilação com ar interior

## 2.2 Ventilação com ar exterior

O controlo da humidade de um banho por ventilação com ar exterior é realizado a partir de um ventilador situado na casa de banho que remove o ar saturado para o exterior, que por sua vez esse ar é substituído com ar exterior que entra por via de infiltrações de uma janela ou até mesmo por via de uma janela aberta, ver exemplo na Figura 2.

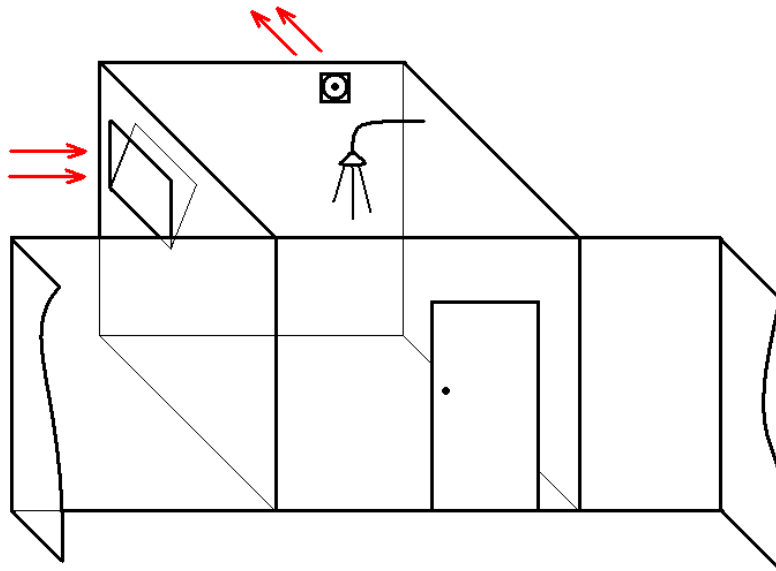


Figura 2 – Exemplo da ventilação com ar exterior

## 2.3 Desumidificação por condensação

O controlo da humidade de um banho pelo processo de desumidificação por condensação consiste na colocação de um desumidificador no interior do espaço do banho que por meio de um ventilador incorporado faz passar o ar no evaporador arrefecendo o ar saturado até ao seu ponto de orvalho e daí retirando o vapor de água que o ar contém. O calor retirado ao ar é devolvido de novo pelo condensador para reaquecer o ar; este sai do desumidificador com uma humidade relativa baixa (ver Figura 3).

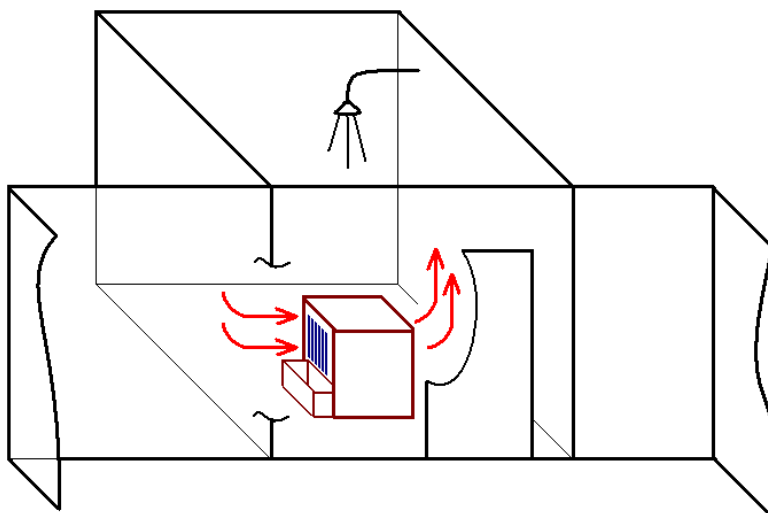


Figura 3 – Exemplo do controlo da humidade por um desumidificador

### 3 Libertação de vapor de um banho

Normalmente considera-se que o ar é constituído por uma mistura homogénea de ar seco e vapor de água (humidade).

O ar só consegue apenas conter uma determinada quantidade de vapor de água a uma certa temperatura, e a razão entre a quantidade real de humidade e a máxima que ainda pode absorver a uma determinada temperatura é chamada de humidade relativa. A humidade relativa pode variar entre 0% (ar seco) e 100% (ar saturado).

A pressão de vapor no ar saturado a uma determinada temperatura é igual à pressão de saturação da água à mesma temperatura. Por exemplo a pressão de vapor do ar saturado a 20°C é de 2,34 kPa como se pode verificar na Tabela 1.

Tabela 1 – Pressão de saturação da água para várias temperaturas [1]

Saturation (boiling) pressure of water at various temperatures	
Temperature, $T$ , °C	Saturation pressure, $P_{sat}$ , kPa
-10	0.26
-5	0.40
0	0.61
5	0.87
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.39
50	12.35
100	101.4
150	476.2
200	1555
250	3976
300	8588

A quantidade de humidade no ar é especificada pela temperatura e pela humidade relativa, e a pressão de vapor está relacionada com a humidade relativa pela equação 1.

$$p_v = \phi \cdot p_{\text{sat},T} \text{ [Pa]} \quad (1)$$

Onde:

$p_v$  – Pressão de vapor [Pa]

$\phi$  – Humidade relativa [%]

$p_{\text{sat},T}$  – Pressão de saturação à temperatura T [Pa]

É de verificar na equação 1 que a quantidade de humidade que o ar pode suportar é proporcional à pressão de saturação da água, a qual aumenta com o aumento da temperatura.

Quando a superfície da água na fase líquida está em contacto com o ar saturado, ou seja ar com humidade relativa de 100% à mesma temperatura que a água líquida, existe o chamado equilíbrio de fase, porque a pressão de vapor do ar é igual à pressão de saturação da água líquida. Se a pressão de vapor for menor que a pressão de saturação da água à mesma temperatura, uma pequena porção de água que se encontra na interface liquido-vapor vai evaporar, ver exemplo na Figura 4.

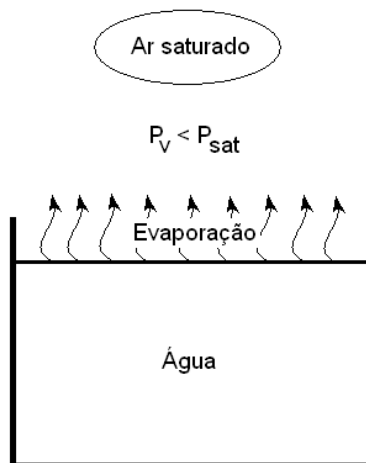


Figura 4 – Exemplo da interface liquido-vapor

No caso de um banho de chuveiro o processo é idêntico, porque a água que sai do chuveiro está na fase líquida a uma temperatura de aproximadamente 45°C e a pressão de saturação da água é de 9,58 kPa. O ar circundante está com uma temperatura de 20°C e uma humidade relativa de 50%, a pressão de saturação da água a 20°C é de 2,34 kPa, logo a pressão do vapor é de 1,17 kPa, existe uma diferença entre a pressão de vapor e a pressão de saturação então a água vai evaporar para o ar circundante (produção de vapor).

Mas a produção de vapor de um banho não é assim tão simples porque existem outros fatores que influenciam a “criação” desse vapor tais como:

- O tipo de chuveiro que se está a utilizar nomeadamente a dispersão e espessura dos jatos de água. Quanto mais finos ou pulverizados forem os jatos de água mais facilmente vai evaporar (ver Figura 5).

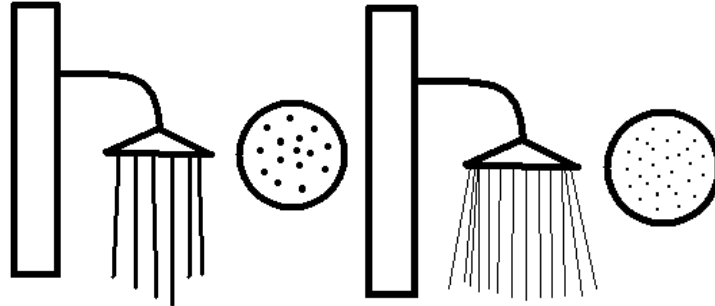


Figura 5 – Exemplo de jato mais espesso e menos disperso (esquerda) e jato mais fino e disperso (direita)

- A cota dos jatos de água: quanto mais elevada mais tempo está em contacto com o ar circundante durante a queda da mesma (ver Figura 6).

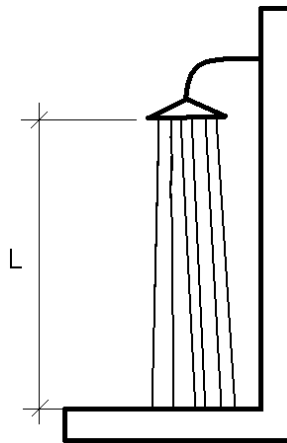


Figura 6 – Exemplo da cota L, altura do jato do chuveiro

O documento [2] refere resumidamente que a taxa da produção de vapor num banho de chuveiro é de 2,6 kg/h mas também a produção de vapor depende de diversos fatores nomeadamente do tempo do banho, a condensação nas paredes, janelas e vidros, e qualquer água que seja depositada no espaço que vai evaporar.

### 3.1 Aspetos considerados na produção de vapor num banho

Na escolha das condições de referência, após análise bibliográfica [2], foi estabelecido 9 minutos para o tempo do banho com uma produção de 0,5 kg de vapor de água durante esse tempo (caudal de  $9,3 \times 10^{-4}$  kg/s de vapor produzido).

A temperatura da água à saída do chuveiro considerada é de 45°C.

O estado psicrométrico inicial do ar é de temperatura 20°C e humidade relativa de 50%.

O volume de controlo considerado é um sistema fechado com as dimensões representadas na Figura 7. Desprezou-se a existência de condensações nas superfícies frias dentro do volume de controlo, uma vez que o objetivo é manter o ar em condições que evitem essas mesmas condensações.

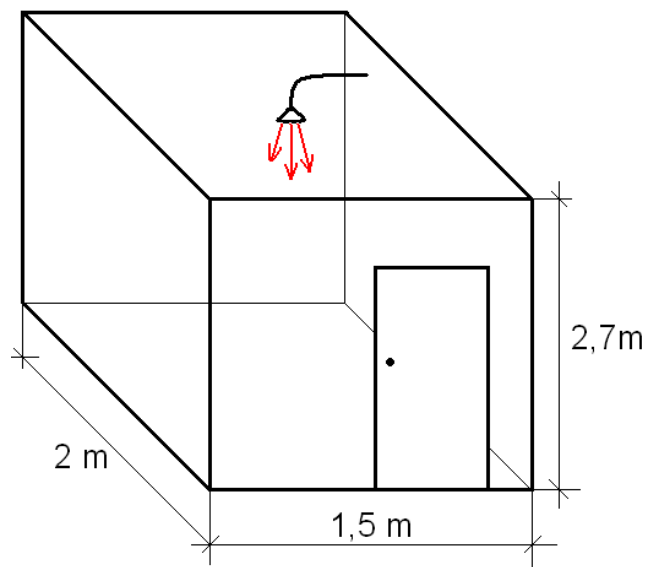


Figura 7 – Dimensões do volume de controlo

#### 4 Estudo da evolução psicrométrica do ar interior da casa de banho durante um banho

Através de uma folha de cálculo construiu-se uma tabela em que se fez incrementos de 1 g de vapor a 45°C no ar interior do volume de controlo em sistema fechado, e daí calculou-se a evolução psicrométrica do ar resultante devido ao vapor adicional absorvido.

Partindo de um estado inicial em que o ar está com  $T=20^{\circ}\text{C}$  e  $\text{HR}=50\%$ , o resultado que foi obtido com a adição do vapor é uma variação da entalpia e da humidade absoluta do ar, que depois permitiu com estes novos valores de entalpia e humidade absoluta calcular, através de um diagrama psicrométrico, a evolução da temperatura e humidade relativa do ar interior.

Na Tabela 2 estão representados alguns dos resultados obtidos da consequência da adição de 1g de vapor a 45°C no ar interior. Na consulta do Anexo A pode-se ver todos os resultados da Tabela 2.

Tabela 2 – Excerto da folha de cálculo da evolução psicrométrica do ar interior

$m_{\text{ar}}$ [kg]	Incremento de vapor [g]	H vapor [kJ]	Propriedades termodinâmicas do ar					$m_v$ [kg]	Vapor adicionado [g]
			H [kJ]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	T [°C]	HR [%]		
9,72	0	0,000	375,192	38,6	7,3	20	50,0	0,071	0
9,72	1	2,582	377,774	38,9	7,4	20	51,0	0,072	1
9,72	1	2,582	380,357	39,1	7,5	20	51,7	0,073	2
9,72	1	2,582	382,939	39,4	7,6	20	52,4	0,074	3
9,72	1	2,582	385,522	39,7	7,7	20	53,1	0,075	4
9,72	1	2,582	388,104	39,9	7,8	20	53,8	0,076	5
9,72	1	2,582	390,686	40,2	7,9	20	54,5	0,077	6
9,72	1	2,582	393,269	40,5	8,0	20	55,2	0,078	7
9,72	1	2,582	395,851	40,7	8,1	20	55,9	0,079	8
9,72	1	2,582	398,434	41,0	8,2	20	56,6	0,080	9
9,72	1	2,582	401,016	41,3	8,3	20	57,3	0,081	10
9,72	1	2,582	403,598	41,5	8,4	20	58,0	0,082	11
9,72	1	2,582	406,181	41,8	8,5	20	58,7	0,083	12
9,72	1	2,582	408,763	42,1	8,6	20	59,4	0,084	13
9,72	1	2,582	411,346	42,3	8,7	20	60,1	0,085	14
9,72	1	2,582	413,928	42,6	8,8	20	60,8	0,086	15
9,72	1	2,582	416,510	42,9	8,9	20	61,5	0,087	16

A evolução do ar no diagrama psicrométrico está representada na Figura 8.

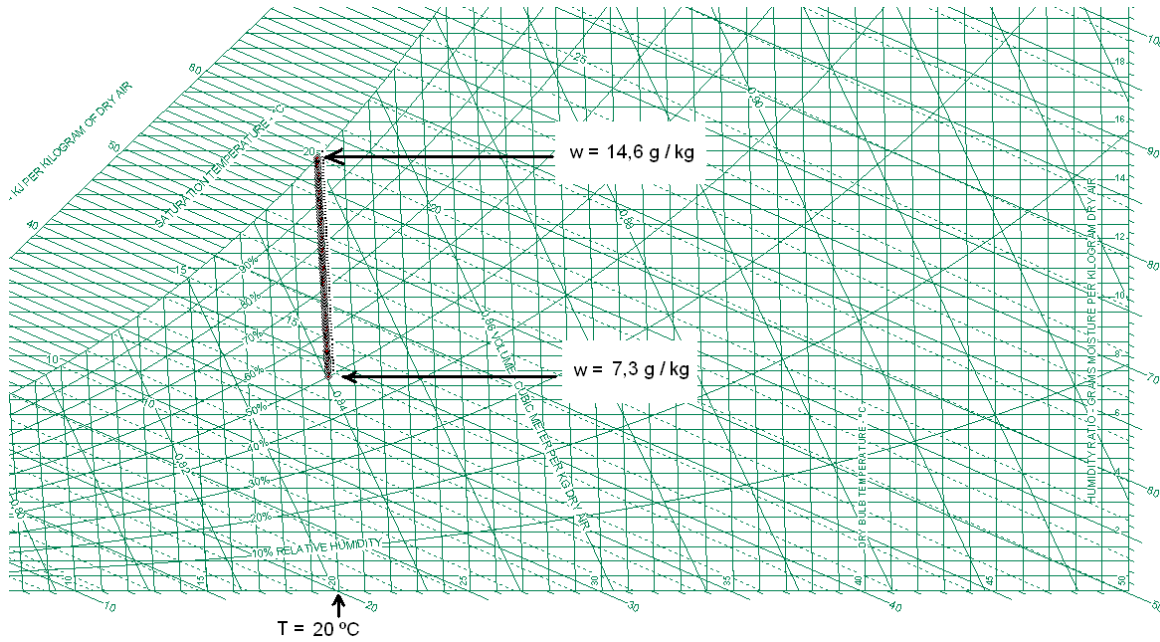


Figura 8 – Evolução psicrométrica do ar interior na absorção de vapor

Ao observar a evolução do ar interior no diagrama psicrométrico conclui-se que o ar mantém praticamente a mesma temperatura (evolução isotérmica), e existe um crescimento acentuado da humidade absoluta (humidificação) e consequentemente de humidade relativa. O ar interior partindo do estado inicial de  $T = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{HR} = 50\%$  e  $w = 7,3 \text{ g/kg}$  até chegar a linha de saturação ou seja  $\text{HR} = 100\%$ ,  $T = 20^{\circ}\text{C}$  e  $w = 14,6 \text{ g/kg}$ , só consegue absorver a quantidade de vapor igual a variação da humidade absoluta entre estado inicial e estado saturado, multiplicada pela massa de ar seco, como se pode verificar nas equações 2,3 e 4.

$$m_{\text{ar}} = \rho_{\text{ar}} \cdot V = 1,2 \times 8,1 = 9,72 \text{ [kg]} \quad (2)$$

$$\Delta w = w_{\text{saturado}} - w_{\text{inicial}} = 14,6 - 7,3 = 7,3 \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right] \quad (3)$$

$$m_{\text{vapor absorvido}} = m_{\text{ar}} \cdot \Delta w = 9,72 \times 7,3 = 71 \text{ [g]} \quad (4)$$

$$\dot{m}_{\text{v}} = \frac{0,5}{(9 \times 60)} = 9,3 \times 10^{-4} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (5)$$

$$\text{Tempo até atingir a saturação} = \frac{m_{\text{vapor absorvido}}}{\dot{m}_{\text{v}}} = \frac{71 \times 10^{-3}}{9,3 \times 10^{-4}} = 78 \text{ [s]} \quad (6)$$

Onde:

$m_{\text{ar}}$  – Massa de ar seco [kg]

$w_{\text{saturado}}$  – Humidade absoluta do ar saturado [g/kg]

$w_{\text{inicial}}$  – Humidade absoluta inicial do ar [g/kg]

$\dot{m}_v$  – Caudal mássico de vapor libertado [kg/s]

$\rho_{ar}$  – Massa volúmica do ar [kg/m<sup>3</sup>]

V – Volume [m<sup>3</sup>]

$m_{vapor\ absorvido}$  – Massa de vapor absorvida [g]

Como um banho é realizado com água a 45°C, em 9 minutos produz 0,5 kg de vapor, a saturação ocorreria ao fim de 78 segundos e o ar não consegue absorver todo o vapor que é adicionado. Portanto quando é atingido o ponto de saturação do ar interior vai surgir uma neblina em que são gotículas de água que estão na iminência de evaporar mas não conseguem, porque o ar já está saturado, ou seja o ar já está com a quantidade máxima de vapor de água que pode possuir à temperatura de 20°C.

Com as equações 2 a 6, verifica-se o porquê da necessidade de controlar a humidade interior de uma casa de banho durante um banho. O ar nas condições de conforto higrotérmico (T=20°C e HR=50%) possui pouca capacidade de absorver humidade em relação a libertação de vapor pelo chuveiro, daí por vezes no espaço onde se realiza o banho haver dificuldade de manter as toalhas secas e também aparecimento de condensações indesejadas.



## 5 Estudo das condições psicrométricas do ar exterior em cada mês de um ano típico na região do Porto

Com o registo da temperatura e humidade relativa de cada hora do dia de todos os meses de um ano típico da região do Porto, realizou-se um gráfico da humidade relativa em função da temperatura para cada mês do ano, para perceber a gama de temperaturas e humidade relativa de cada mês do ano (ver Figura 9).

Estes gráficos têm interesse para depois fazer a escolha da temperatura e respetiva humidade relativa de cada mês, utilizando-os nos cálculos do consumo energético no controlo da humidade por ventilação.

Então foram retirados três conjuntos de valores de temperatura e humidade relativa para cada mês do ano, que são:

- Condições do ar exterior adversas, ou seja temperatura o mais baixa possível e humidade relativa o mais alta possível de um dia de cada mês do ano, porque o ar tem menos capacidade de absorver vapor de água com estas condições.
- Condições do ar exterior médias: aqui foi feita a média de temperatura e humidade relativa de todos os dias de cada mês do ano.
- Condições do ar exterior às 7:00 horas: estipulou-se que normalmente as pessoas acordam de manhã e tomam um banho, então fez-se uma média de temperatura e humidade relativa de todos os dias de cada mês na hora respetiva.

Na Tabela 3, estão representados todos os valores de temperatura e respetiva humidade relativa para cada tipo de condições.

Tabela 3 – Temperatura e humidade relativa para cada condição do ar exterior em cada mês

Mês	Condições dos ar exterior						
	Adversas		Médias		Às 7:00 horas		
	T [°C]	HR [%]	T [°C]	HR [%]	Hora	T [°C]	HR [%]
Janeiro	0,7	97	9,3	80	7:00	5,6	92
Fevereiro	7,2	100	9,4	77	7:00	6,0	90
Março	5,1	100	11,8	78	7:00	7,5	88
Abril	8,3	100	12,9	71	7:00	9,0	87
Maió	8,3	99	15,9	69	7:00	11,7	86
Junho	12,3	100	19,2	72	7:00	14,4	86
Julho	14,4	100	20,6	72	7:00	15,9	87
Agosto	13	100	20,9	74	7:00	15,3	89
Setembro	11,5	100	20,2	70	7:00	14,1	91
Outubro	11,5	100	16,6	74	7:00	11,5	92
Novembro	7,2	100	12,8	80	7:00	7,7	92
Dezembro	5,7	100	8,9	83	7:00	5,9	90

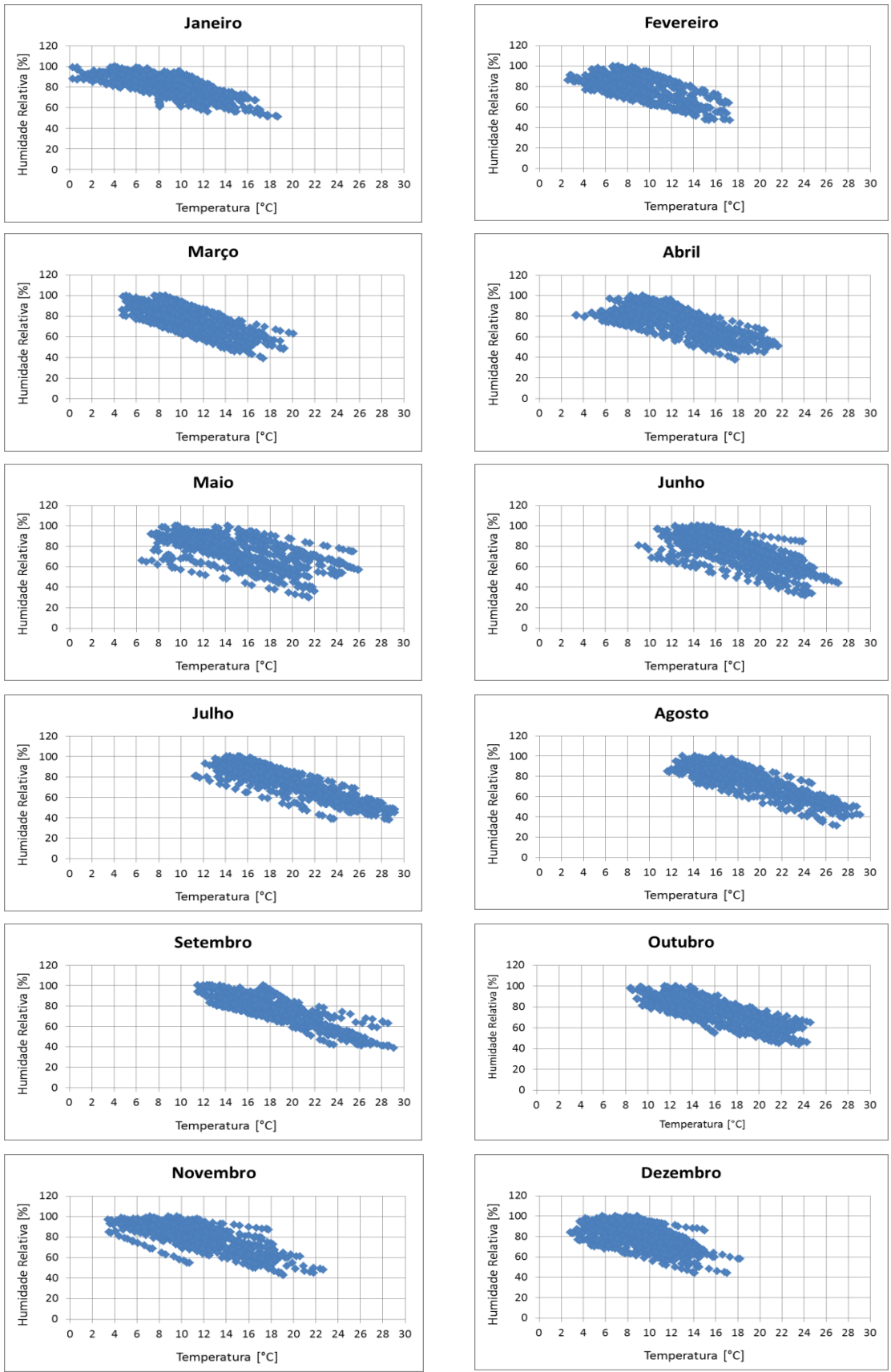


Figura 9 – Gráficos da humidade relativa em função da temperatura para cada mês do ano

## 6 Estudo do consumo energético de cada estratégia típica de controlo da humidade num banho

Nos pontos que se seguem vão ser apresentados os resultados do estudo do consumo energético de cada estratégia adotada para o controlo da humidade num banho. Os resultados que são apresentados correspondem a um único banho.

Na estação de verão desprezou-se o controlo da temperatura (aquecimento do ar exterior), isto porque normalmente não se aquece o ar exterior nesta época do ano.

A nível de conforto higrotérmico, dependendo do tipo de roupa e atividade que as pessoas estão a ter, normalmente seria próximo de  $T=20^{\circ}\text{C}$  e  $\text{HR}=50\%$ , mas no caso em que se está a tomar um banho de chuveiro tomou-se a decisão em que o máximo de humidade relativa é de 80%, para poder conseguir absorver o máximo de vapor produzido possível, sem comprometer muito o conforto.

O consumo de energia do ventilador foi avaliado pela equação 7 [3].

$$P_{\text{ventilador}} = \text{s.f.p} \times \dot{V}_{\text{ar}} \text{ [kW]} \quad (7)$$

Onde:

$P_{\text{ventilador}}$  – Potência consumida pelo ventilador [kW]

s.f.p – “*Sepecific Fan Power*” onde é considerado  $1\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

$\dot{V}_{\text{ar}}$  – Caudal volúmico de ar seco [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

A ventilação como o ar interior ou exterior vai substituir o ar saturado do espaço do banho, houve a necessidade de calcular a massa de ar seco a insuflar para conseguir remover o vapor adicionado pelo chuveiro. A expressão para esse cálculo é dada pela equação 8.

$$m_{\text{ar}} = \frac{m_v}{\Delta w} \text{ [kg]} \quad (8)$$

Com a massa de ar calculada pela equação 8, considerou-se que o caudal de ar necessário é obtido pela equação:

$$\dot{m}_{\text{ar}} = \frac{m_{\text{ar}}}{t_{\text{banho}}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (9)$$

Onde:

$\dot{m}_{\text{ar}}$  – Caudal mássico de ar seco [kg/s]

$t_{\text{banho}}$  – Duração do banho (9 minutos) [s]

Nas estratégias de controlo da humidade em que se considerou o controlo da temperatura, a equação 10 foi a que se utilizou para obter os resultados do consumo da energia no aquecimento do ar.

$$Q_s = m_{\text{ar}} \cdot c_{p,\text{ar}} \cdot \Delta T \text{ [kJ]} \quad (10)$$

Onde:

$Q_s$  – Calor sensível [kJ]

$c_{p,\text{ar}}$  – Calor específico à pressão contante do ar [kJ/(kg.K)]

$\Delta T$  – Diferença de temperatura [°C]

### 6.1 Ventilação com ar interior

Na ventilação com ar interior foi considerado que o mesmo entra no espaço da casa de banho com as seguintes características psicrométricas  $T=20^{\circ}\text{C}$  e  $\text{HR}=50\%$ . Mas para que o ar interior esteja com estas características é necessário que o mesmo entre no espaço adjacente à casa de banho com as condições psicrométricas exteriores, e seja pelo menos tratado termicamente ou seja, aquecendo-o na estação de inverno. Mas ao aquecer o ar exterior até  $T=20^{\circ}\text{C}$ , a humidade relativa do mesmo vai baixar; então para ter  $\text{HR}=50\%$  arbitrou-se que o ar vai absorver vapor de água proveniente das plantas, roupa húmida e da transpiração humana.

Considerou-se um aquecedor elétrico para fazer o aquecimento do ar exterior que vai entrar no espaço adjacente à casa de banho, e o máximo de humidade relativa que se pode admitir dentro do espaço do banho é de 80%.

Os resultados do consumo de energia para cada condição do ar exterior, vão ser apresentados nos pontos a seguir. Depois será apresentada uma breve conclusão sobre os consumos de energia do controlo da humidade através da ventilação com ar interior.

Na Figura 10, está representado esquematicamente um exemplo do percurso que o ar poderá fazer na ventilação com ar interior.

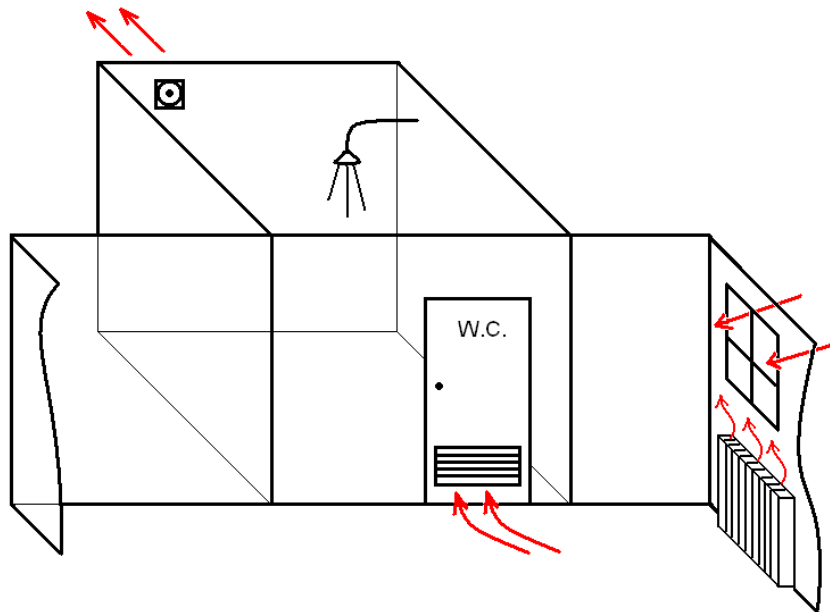


Figura 10 – Exemplo do percurso do ar na ventilação com ar interior

### 6.1.1 Consumo de energia com ar exterior nas condições adversas de cada mês

Na Tabela 4 e Figura 11 estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições mais adversas de cada mês.

Tabela 4 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições adversas

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	112,7	0,209	2186,321	25	4,4	29,382	77	4,049	0,174	0,607	0,026	<b>0,633</b>
Fevereiro	112,7	0,209	1449,995	43	4,4	35,846	77	2,685	0,174	0,403	0,026	<b>0,429</b>
Março	112,7	0,209	1687,885	37	4,4	33,798	77	3,126	0,174	0,469	0,026	<b>0,495</b>
Abril	112,7	0,209	1325,386	46	4,4	36,975	77	2,454	0,174	0,368	0,026	<b>0,394</b>
Maió	112,7	0,209	1325,386	45	4,4	36,804	77	2,454	0,174	0,368	0,026	<b>0,394</b>
Junho	112,7	0,209	0,000	50	4,4	42,243	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Julho	112,7	0,209	0,000	50	4,4	45,372	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Agosto	112,7	0,209	0,000	50	4,4	43,765	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Setembro	112,7	0,209	0,000	50	4,4	40,802	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Outubro	112,7	0,209	0,000	50	4,4	40,802	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Novembro	112,7	0,209	1449,995	43	4,4	35,846	77	2,685	0,174	0,403	0,026	<b>0,429</b>
Dezembro	112,7	0,209	1619,917	37	4,4	33,798	77	3,000	0,174	0,450	0,026	<b>0,476</b>

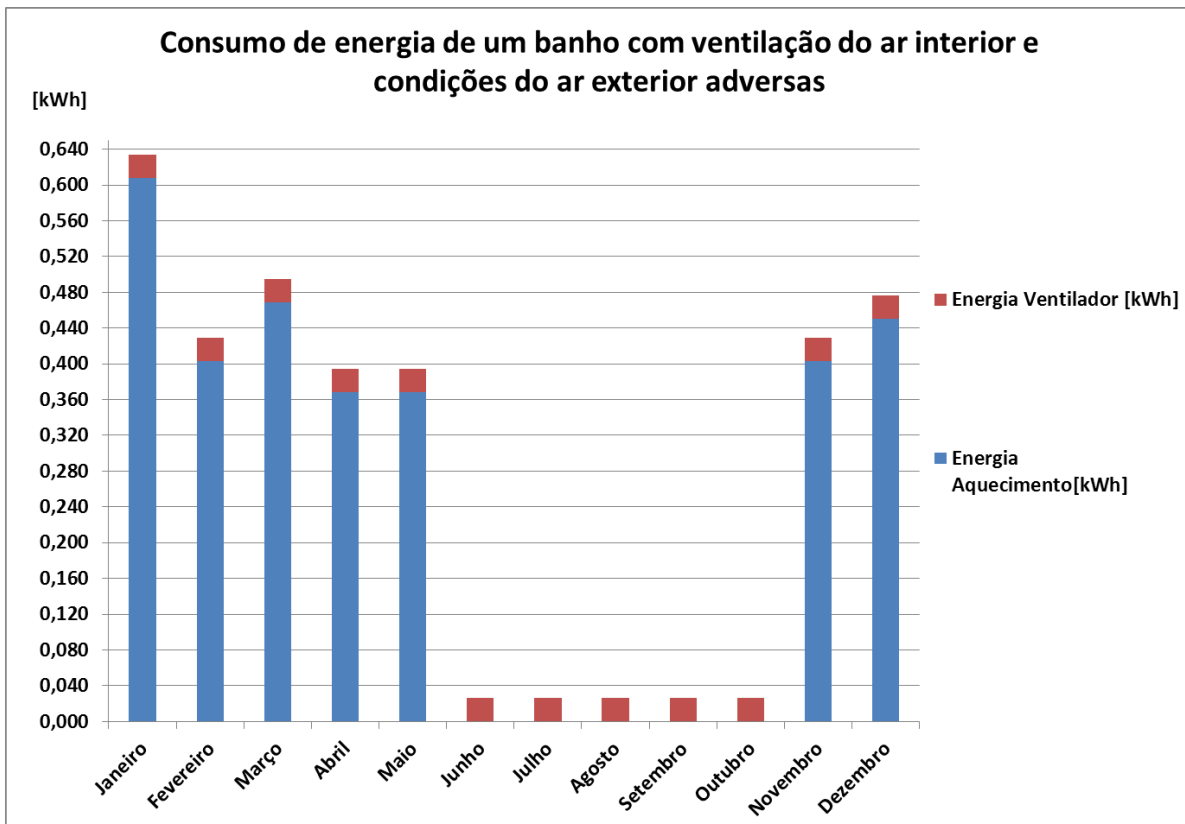


Figura 11 – Gráfico do consumo de energia para o controlo da humidade de um banho por ventilação com ar interior nas condições do ar exterior adversas

### 6.1.2 Consumo de energia com ar exterior nas condições médias de cada mês

Na Tabela 5 e Figura 12, estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições médias de cada mês.

Tabela 5 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições médias

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	112,7	0,209	1212,105	39	4,4	34,522	77	2,245	0,174	0,337	0,026	0,363
Fevereiro	112,7	0,209	1200,777	38	4,4	33,977	77	2,224	0,174	0,334	0,026	0,360
Março	112,7	0,209	928,903	44	4,4	36,201	77	1,720	0,174	0,258	0,026	0,284
Abril	112,7	0,209	804,294	43	4,4	35,758	77	1,489	0,174	0,223	0,026	0,250
Mai	112,7	0,209	464,452	50	4,4	38,627	77	0,860	0,174	0,129	0,026	0,155
Junho	112,7	0,209	0,000	72	4,4	45,116	77	0,000	0,174	0,000	0,026	0,026
Julho	112,7	0,209	0,000	72	4,4	46,750	77	0,000	0,174	0,000	0,026	0,026
Agosto	112,7	0,209	0,000	74	4,4	47,503	77	0,000	0,174	0,000	0,026	0,026
Setembro	112,7	0,209	0,000	70	4,4	45,997	77	0,000	0,174	0,000	0,026	0,026
Outubro	112,7	0,209	0,000	74	4,4	41,323	77	0,000	0,174	0,000	0,026	0,026
Novembro	112,7	0,209	815,622	48	4,4	37,764	77	1,510	0,174	0,227	0,026	0,253
Dezembro	112,7	0,209	1257,418	38	4,4	34,081	77	2,329	0,174	0,349	0,026	0,375

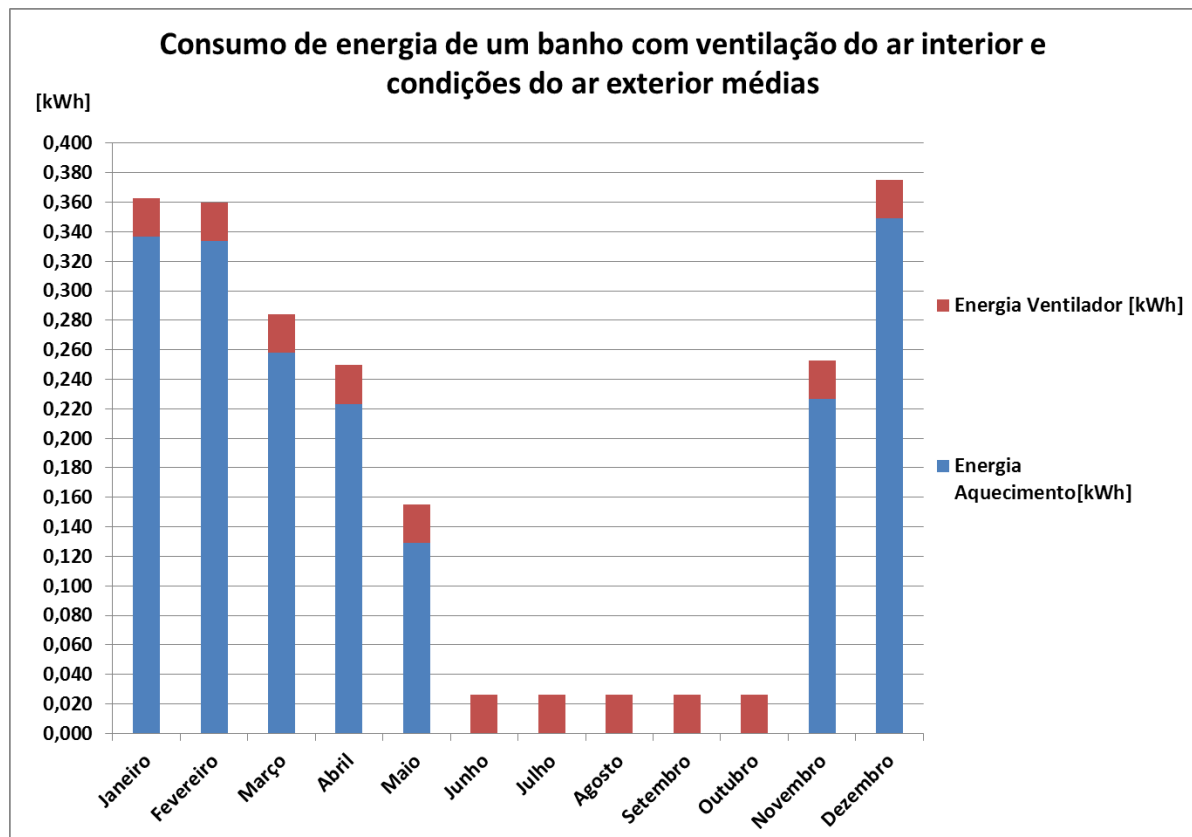


Figura 12 – Gráfico do consumo de energia para o controlo da humidade de um banho por ventilação com ar interior nas condições do ar exterior médias

### 6.1.3 Consumo de energia com ar exterior nas condições às 7:00 horas

Na Tabela 6 e Figura 13, estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições do ar exterior às 7:00 horas.

Tabela 6 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições médias

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	112,7	0,209	1630,879	34	4,4	77,310	77	3,020	0,174	0,453	0,026	<b>0,479</b>
Fevereiro	112,7	0,209	1586,741	34	4,4	77,310	77	2,938	0,174	0,441	0,026	<b>0,467</b>
Março	112,7	0,209	1413,818	38	4,4	77,310	77	2,618	0,174	0,393	0,026	<b>0,419</b>
Abril	112,7	0,209	1245,334	43	4,4	77,310	77	2,306	0,174	0,346	0,026	<b>0,372</b>
Maió	112,7	0,209	941,693	48	4,4	77,310	77	1,744	0,174	0,262	0,026	<b>0,288</b>
Junho	112,7	0,209	0,000	86	4,4	77,310	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Julho	112,7	0,209	0,000	87	4,4	77,310	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Agosto	112,7	0,209	0,000	89	4,4	77,310	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Setembro	112,7	0,209	0,000	91	4,4	77,310	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Outubro	112,7	0,209	0,000	92	4,4	77,310	77	0,000	0,174	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Novembro	112,7	0,209	1395,998	39	4,4	77,310	77	2,585	0,174	0,388	0,026	<b>0,414</b>
Dezembro	112,7	0,209	1599,453	34	4,4	77,310	77	2,962	0,174	0,444	0,026	<b>0,470</b>

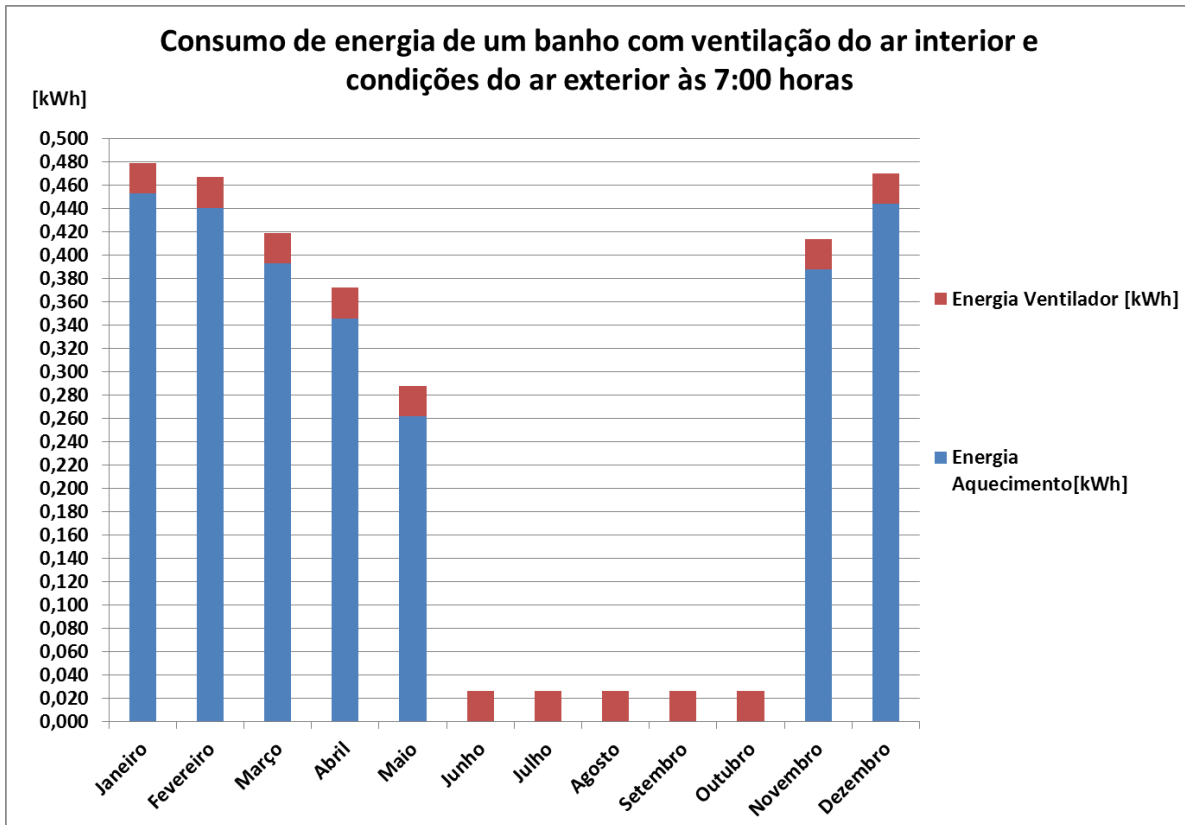


Figura 13 – Gráfico do consumo de energia para o controlo da humidade de um banho por ventilação com ar interior nas condições do ar exterior às 7:00 horas.

#### 6.1.4 Considerações adicionais sobre a ventilação com ar interior

Na ventilação com ar interior assumiu-se que o ar que entra na casa de banho está sempre com  $T=20^{\circ}\text{C}$  e  $\text{HR}=50\%$ , logo independentemente das condições do ar exterior a massa de ar seco necessária a insuflar é sempre a mesma (112,7 kg), logo a energia consumida pelo ventilador também se mantém constante todos os meses, independentemente das condições do ar exterior.

Onde existe maior consumo de energia é no aquecimento do ar exterior que entra no espaço adjacente à casa de banho. Note-se contudo que como se admitiu que o ventilador vai retirar a massa de ar necessária no tempo do banho de 9 min, a taxa de renovações por hora do espaço é de 77 Rph. Este valor está muito acima da taxa de renovações consideradas confortáveis para uma casa de banho que ronda entre 7 a 10 Rph [4].

#### 6.2 Ventilação com ar exterior

Na ventilação com ar exterior foi considerado que o ar saturado no interior da casa de banho é substituído por ar exterior através de uma entrada ligada diretamente ao exterior, como por exemplo uma janela aberta (ver Figura 14).

Na estação de verão desprezou-se o controlo da temperatura, isto porque normalmente não se aquece o ar exterior nesta época do ano, e também para ter possibilidade de comparação com a ventilação do ar interior.

Para o aquecimento do ar exterior que vai entrar na casa de banho e substituir o ar saturado extraído, no caso de existência de controlo de temperatura considerou-se um aquecedor elétrico para aquecer o ar até a temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  na estação de inverno. Na Figura 14 pode-se observar um exemplo onde pode estar colocado o aquecedor no interior da casa de banho. A humidade relativa máxima admitida é de 80%.

Nas subsecções a seguir vão ser apresentados os resultados dos consumos de energia do controlo da humidade de um espaço de banho com as diferentes condições exteriores. Depois será apresentado uma breve conclusão sobre esta estratégia de desumidificação adotada.

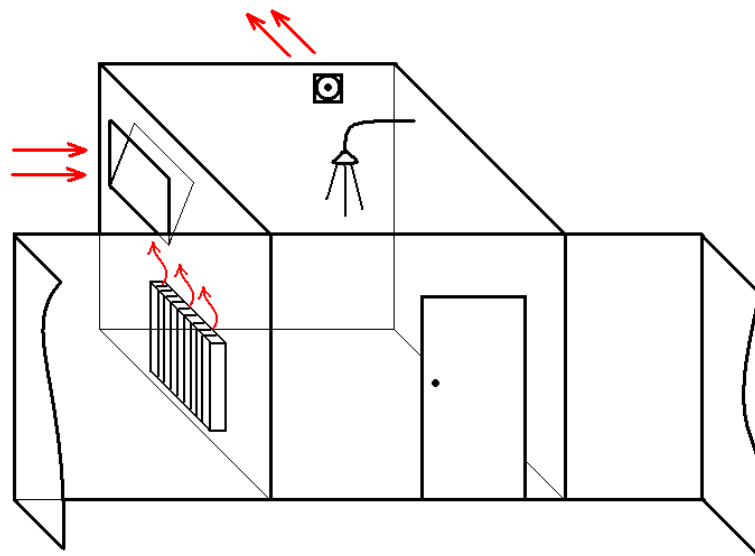


Figura 14 – Exemplo do percurso do ar com ventilação com ar exterior

### 6.2.1 Consumo de energia com ar exterior nas condições adversas de cada mês e com controlo da temperatura

Na Tabela 7 e Figura 15, estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições de ar exterior adversas de cada mês e com controlo da temperatura.

Tabela 7 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições adversas com controlo da temperatura

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	62,2	0,115	1207,123	25	8,034	29,382	43	2,235	0,096	0,335	0,014	<b>0,350</b>
Fevereiro	91,1	0,169	1172,337	43	5,486	35,846	63	2,171	0,141	0,326	0,021	<b>0,347</b>
Março	79,4	0,147	1189,617	37	6,294	33,798	54	2,203	0,123	0,330	0,018	<b>0,349</b>
Abril	99,2	0,184	1166,153	46	5,042	36,975	68	2,160	0,153	0,324	0,023	<b>0,347</b>
Maió	97,9	0,181	1150,810	45	5,109	36,804	67	2,131	0,151	0,320	0,023	<b>0,342</b>
Junho	168,6	0,312	0,000	100	2,965	42,243	116	0,000	0,260	0,000	0,039	<b>0,039</b>
Julho	288,7	0,535	0,000	100	1,732	45,372	198	0,000	0,445	0,000	0,067	<b>0,067</b>
Agosto	211,4	0,391	0,000	100	2,365	43,765	145	0,000	0,326	0,000	0,049	<b>0,049</b>
Setembro	141,5	0,262	0,000	100	3,533	40,802	97	0,000	0,218	0,000	0,033	<b>0,033</b>
Outubro	141,5	0,262	0,000	100	3,533	40,802	97	0,000	0,218	0,000	0,033	<b>0,033</b>
Novembro	91,1	0,169	1172,337	43	5,486	35,846	63	2,171	0,141	0,326	0,021	<b>0,347</b>
Dezembro	79,4	0,147	1141,713	37	6,294	33,798	54	2,114	0,123	0,317	0,018	<b>0,336</b>

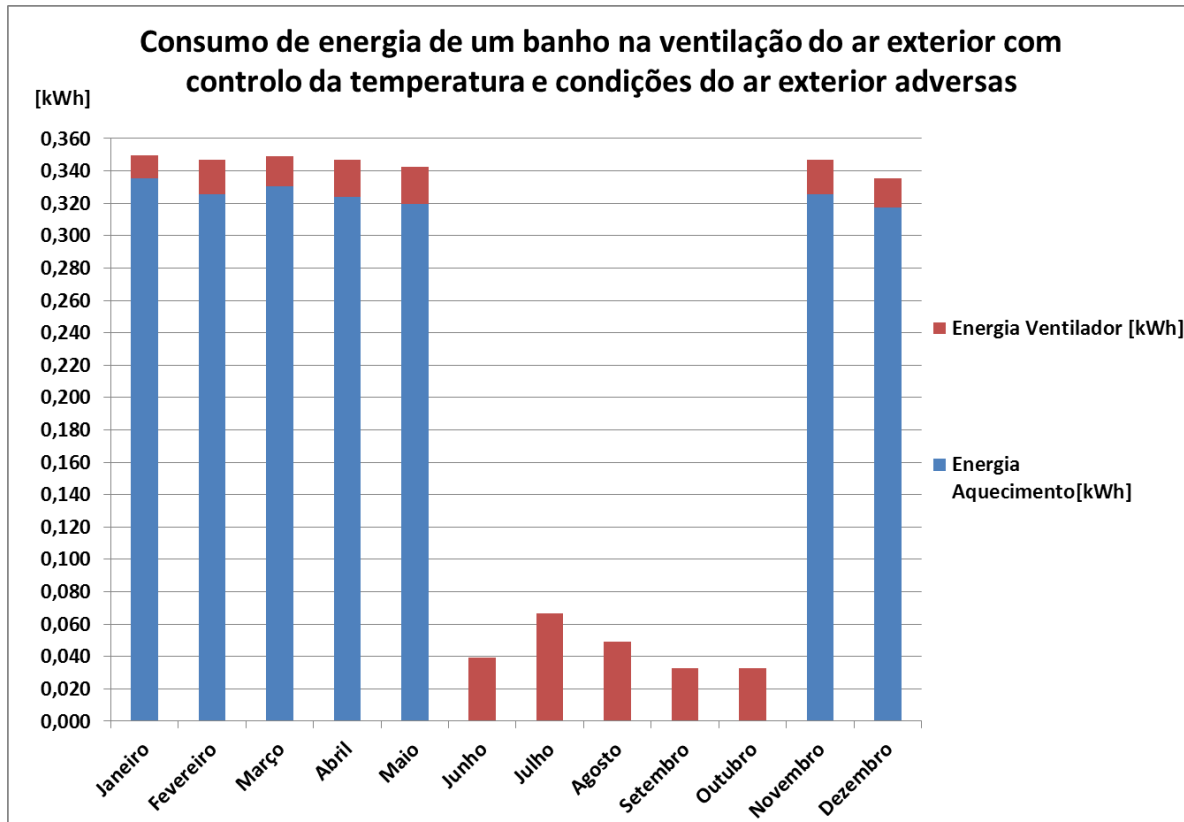


Figura 15 – Gráfico do consumo de energia no controlo da humidade de um banho por ventilação com ar exterior nas condições adversas com controlo da temperatura

### 6.2.2 Consumo de energia com ar exterior nas condições adversas de cada mês e sem controlo da temperatura

Na Tabela 8 e Figura 16, estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições médias de cada mês sem controlo da temperatura.

Tabela 8 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições adversas sem controlo da temperatura

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	62,2	0,115	0,000	97	8,034	9,852	43	0,000	0,096	0,000	0,014	0,014
Fevereiro	91,1	0,169	0,000	100	5,486	22,837	63	0,000	0,141	0,000	0,021	0,021
Março	79,4	0,147	0,000	100	6,294	18,676	54	0,000	0,123	0,000	0,018	0,018
Abril	99,2	0,184	0,000	100	5,042	25,072	68	0,000	0,153	0,000	0,023	0,023
Maió	97,9	0,181	0,000	99	5,109	24,903	67	0,000	0,151	0,000	0,023	0,023
Junho	168,6	0,312	0,000	100	2,965	34,380	116	0,000	0,260	0,000	0,039	0,039
Julho	288,7	0,535	0,000	100	1,732	39,639	198	0,000	0,445	0,000	0,067	0,067
Agosto	211,4	0,391	0,000	100	2,365	36,617	145	0,000	0,326	0,000	0,049	0,049
Setembro	141,5	0,262	0,000	100	3,533	32,130	97	0,000	0,218	0,000	0,033	0,033
Outubro	141,5	0,262	0,000	100	3,533	32,130	97	0,000	0,218	0,000	0,033	0,033
Novembro	91,1	0,169	0,000	100	5,486	22,837	63	0,000	0,141	0,000	0,021	0,021
Dezembro	79,4	0,147	0,000	100	6,294	19,279	54	0,000	0,123	0,000	0,018	0,018

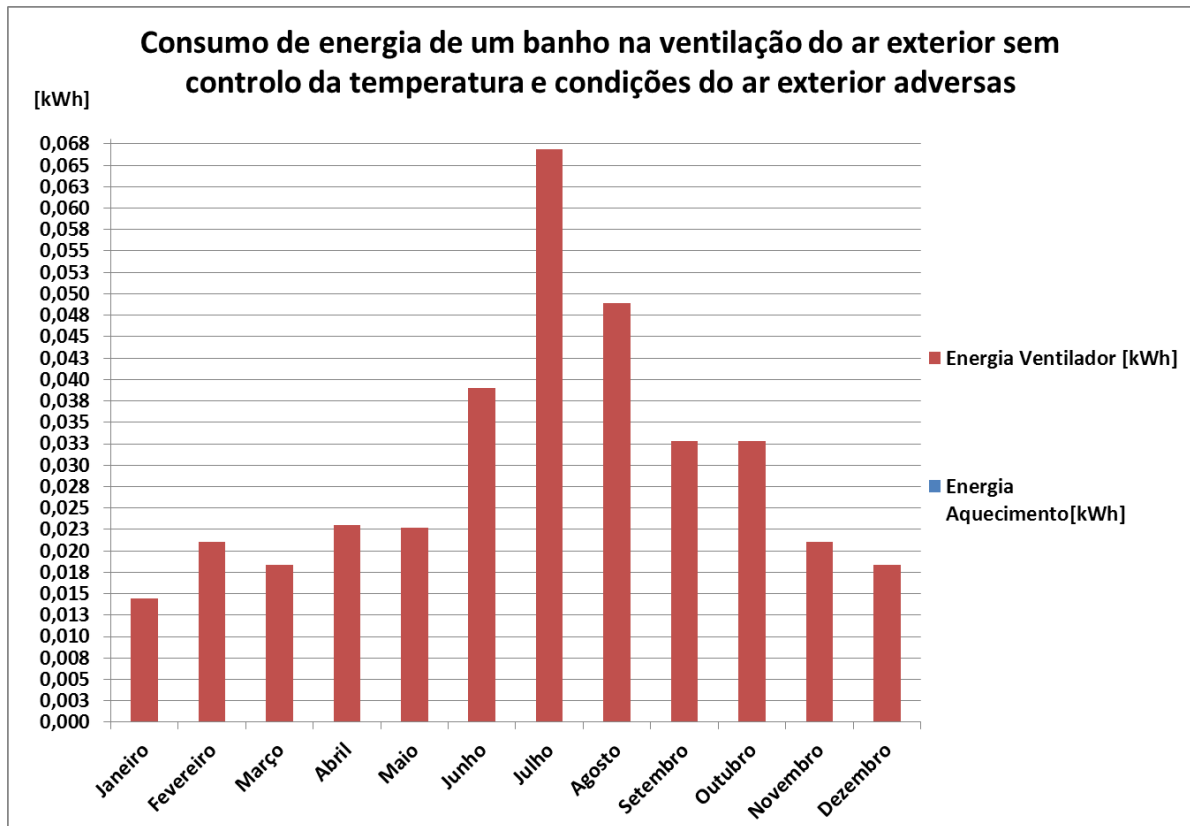


Figura 16 – Gráfico do consumo de energia no controlo da humidade de um banho por ventilação com ar exterior nas condições adversas sem controlo da temperatura.

### 6.2.3 Consumo de energia com ar exterior nas condições médias de cada mês e com controlo da temperatura

Na Tabela 9 e Figura 17, estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições médias e com controlo da temperatura.

Tabela 9 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições médias com controlo da temperatura

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	83,2	0,154	894,891	39	6,008	34,522	57	1,657	0,128	0,249	0,019	<b>0,268</b>
Fevereiro	80,3	0,149	855,895	38	6,223	33,977	55	1,585	0,124	0,238	0,019	<b>0,256</b>
Março	93,5	0,173	770,701	44	5,346	36,201	64	1,427	0,144	0,214	0,022	<b>0,236</b>
Abril	90,6	0,168	646,166	43	5,521	35,758	62	1,197	0,140	0,179	0,021	<b>0,200</b>
Maió	113,9	0,211	469,277	50	4,390	38,627	78	0,869	0,176	0,130	0,026	<b>0,157</b>
Junho	272,8	0,505	0,000	72	1,833	45,116	187	0,000	0,421	0,000	0,063	<b>0,063</b>
Julho	420,5	0,779	0,000	72	1,189	46,750	288	0,000	0,649	0,000	0,097	<b>0,097</b>
Agosto	560,4	1,038	0,000	74	0,892	47,503	384	0,000	0,865	0,000	0,130	<b>0,130</b>
Setembro	336,6	0,623	0,000	70	1,486	45,997	231	0,000	0,519	0,000	0,078	<b>0,078</b>
Outubro	150,3	0,278	0,000	74	3,328	41,323	103	0,000	0,232	0,000	0,035	<b>0,035</b>
Novembro	105,7	0,196	764,840	48	4,730	37,764	72	1,416	0,163	0,212	0,024	<b>0,237</b>
Dezembro	80,9	0,150	902,218	38	6,182	34,081	55	1,671	0,125	0,251	0,019	<b>0,269</b>

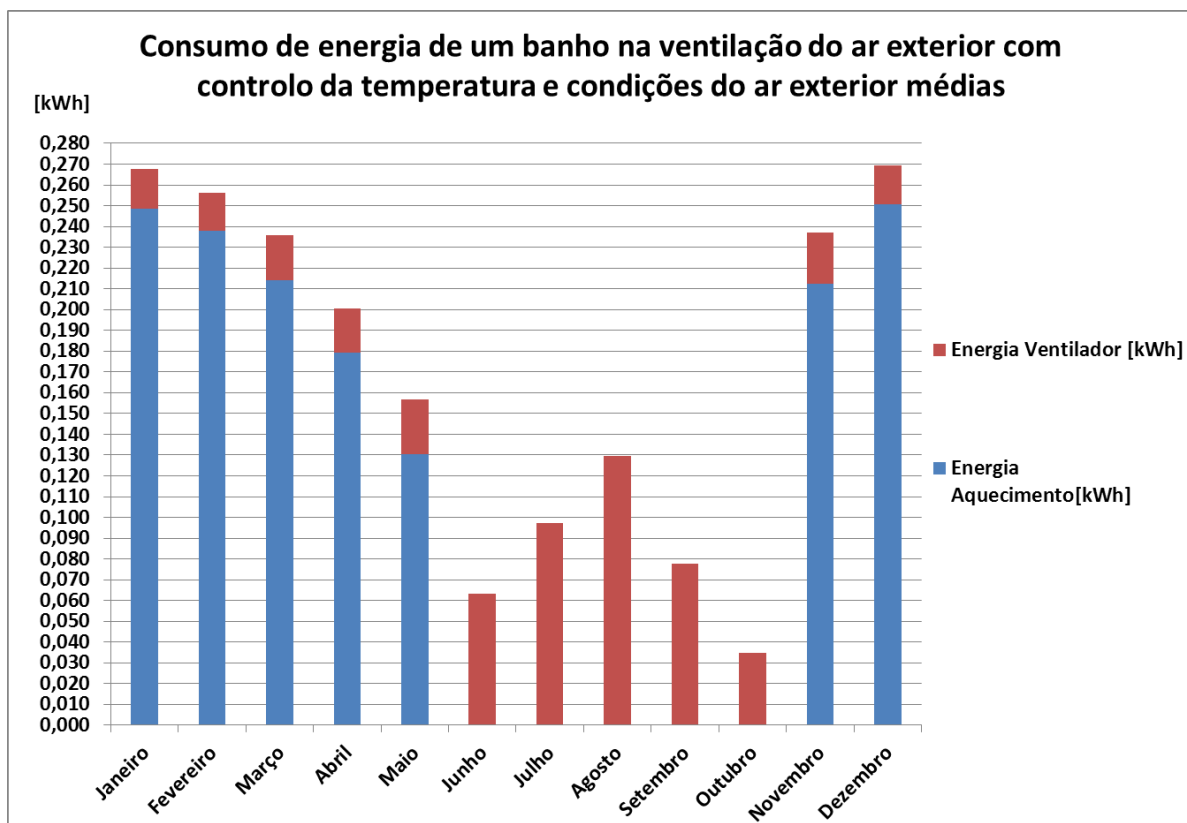


Figura 17 – Gráfico do consumo de energia no controlo da humidade de um banho por ventilação com ar exterior nas condições médias com controlo da temperatura

### 6.2.4 Consumo de energia com ar exterior nas condições médias de cada mês e sem controlo da temperatura

Na Tabela 10 e Figura 18, estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições médias e sem controlo da temperatura.

Tabela 10 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições médias sem controlo da temperatura

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	83,2	0,154	0,000	80	6,008	23,657	57	0,000	0,128	0,000	0,019	<b>0,019</b>
Fevereiro	80,3	0,149	0,000	77	6,223	23,216	55	0,000	0,124	0,000	0,019	<b>0,019</b>
Março	93,5	0,173	0,000	78	5,346	27,860	64	0,000	0,144	0,000	0,022	<b>0,022</b>
Abril	90,6	0,168	0,000	71	5,521	28,534	62	0,000	0,140	0,000	0,021	<b>0,021</b>
Maió	113,9	0,211	0,000	69	4,390	34,443	78	0,000	0,176	0,000	0,026	<b>0,026</b>
Junho	272,8	0,505	0,000	72	1,833	44,296	187	0,000	0,421	0,000	0,063	<b>0,063</b>
Julho	420,5	0,779	0,000	72	1,189	47,353	288	0,000	0,649	0,000	0,097	<b>0,097</b>
Agosto	560,4	1,038	0,000	74	0,892	48,407	384	0,000	0,865	0,000	0,130	<b>0,130</b>
Setembro	336,6	0,623	0,000	70	1,486	46,198	231	0,000	0,519	0,000	0,078	<b>0,078</b>
Outubro	150,3	0,278	0,000	74	3,328	37,847	103	0,000	0,232	0,000	0,035	<b>0,035</b>
Novembro	105,7	0,196	0,000	80	4,730	30,429	72	0,000	0,163	0,000	0,024	<b>0,024</b>
Dezembro	80,9	0,150	0,000	83	6,182	22,805	55	0,000	0,125	0,000	0,019	<b>0,019</b>

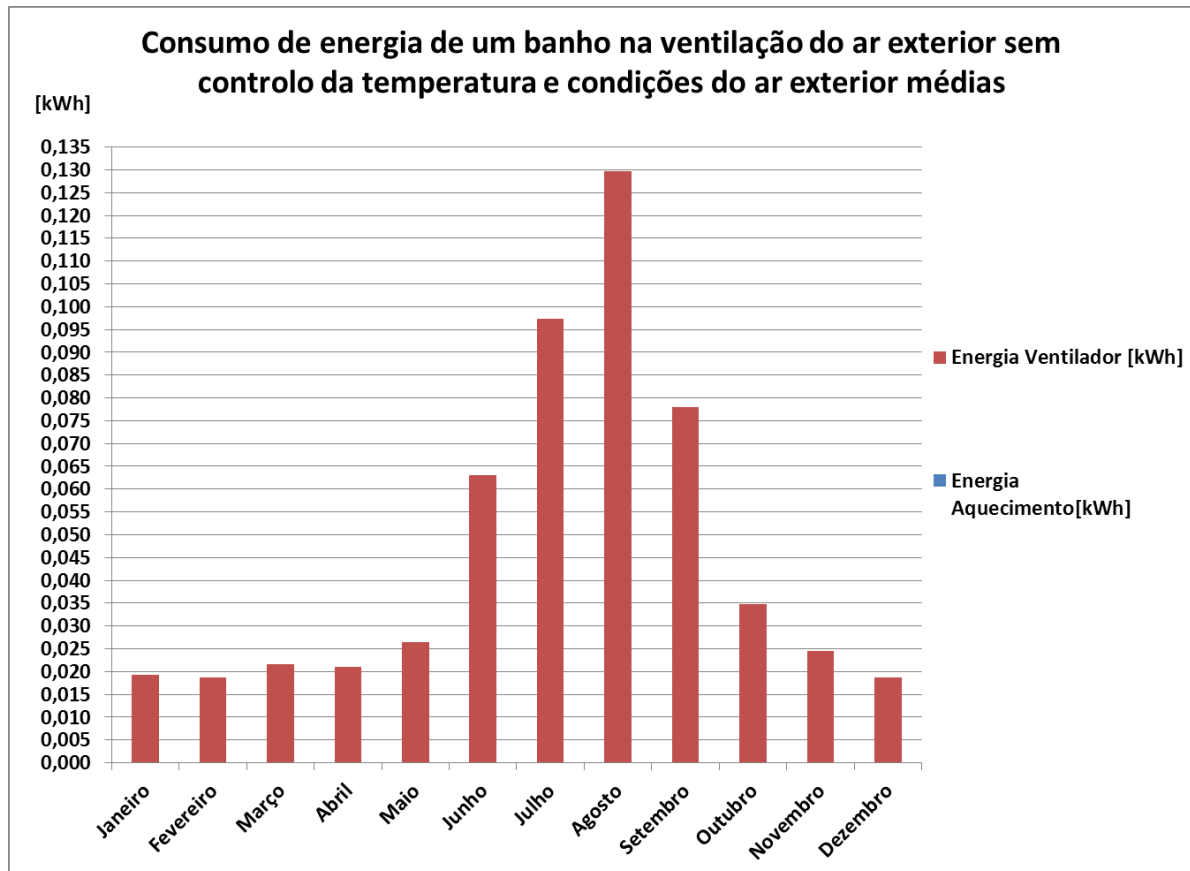


Figura 18 – Gráfico do consumo de energia no controlo da humidade de um banho por ventilação com ar exterior nas condições médias sem controlo da temperatura

### 6.2.5 Consumo de energia com ar exterior nas condições às 7:00 horas com controlo da temperatura

Na Tabela 11 e Figura 19, estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições às 7:00 horas com controlo da temperatura.

Tabela 11 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições às 7:00 horas com controlo da temperatura

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	74,3	0,138	1075,637	34	6,726	32,702	51	1,992	0,115	0,299	0,017	<b>0,316</b>
Fevereiro	73,2	0,135	1029,931	34	6,834	32,427	50	1,907	0,113	0,286	0,017	<b>0,303</b>
Março	79,8	0,148	1001,529	38	6,262	33,879	55	1,855	0,123	0,278	0,018	<b>0,297</b>
Abril	90,7	0,168	1001,563	43	5,516	35,772	62	1,855	0,140	0,278	0,021	<b>0,299</b>
Maió	107,2	0,199	895,575	48	4,664	37,932	74	1,658	0,165	0,249	0,025	<b>0,274</b>
Junho	160,1	0,297	0,000	86	3,122	41,845	110	0,000	0,247	0,000	0,037	<b>0,037</b>
Julho	201,2	0,373	0,000	87	2,485	43,462	138	0,000	0,311	0,000	0,047	<b>0,047</b>
Agosto	223,4	0,414	0,000	89	2,238	44,088	153	0,000	0,345	0,000	0,052	<b>0,052</b>
Setembro	187,6	0,347	0,000	91	2,665	43,004	129	0,000	0,290	0,000	0,043	<b>0,043</b>
Outubro	118,8	0,220	0,000	92	4,210	39,086	81	0,000	0,183	0,000	0,027	<b>0,027</b>
Novembro	83,1	0,154	1029,211	39	6,017	34,501	57	1,906	0,128	0,286	0,019	<b>0,305</b>
Dezembro	73,3	0,136	1040,528	34	6,819	32,466	50	1,927	0,113	0,289	0,017	<b>0,306</b>

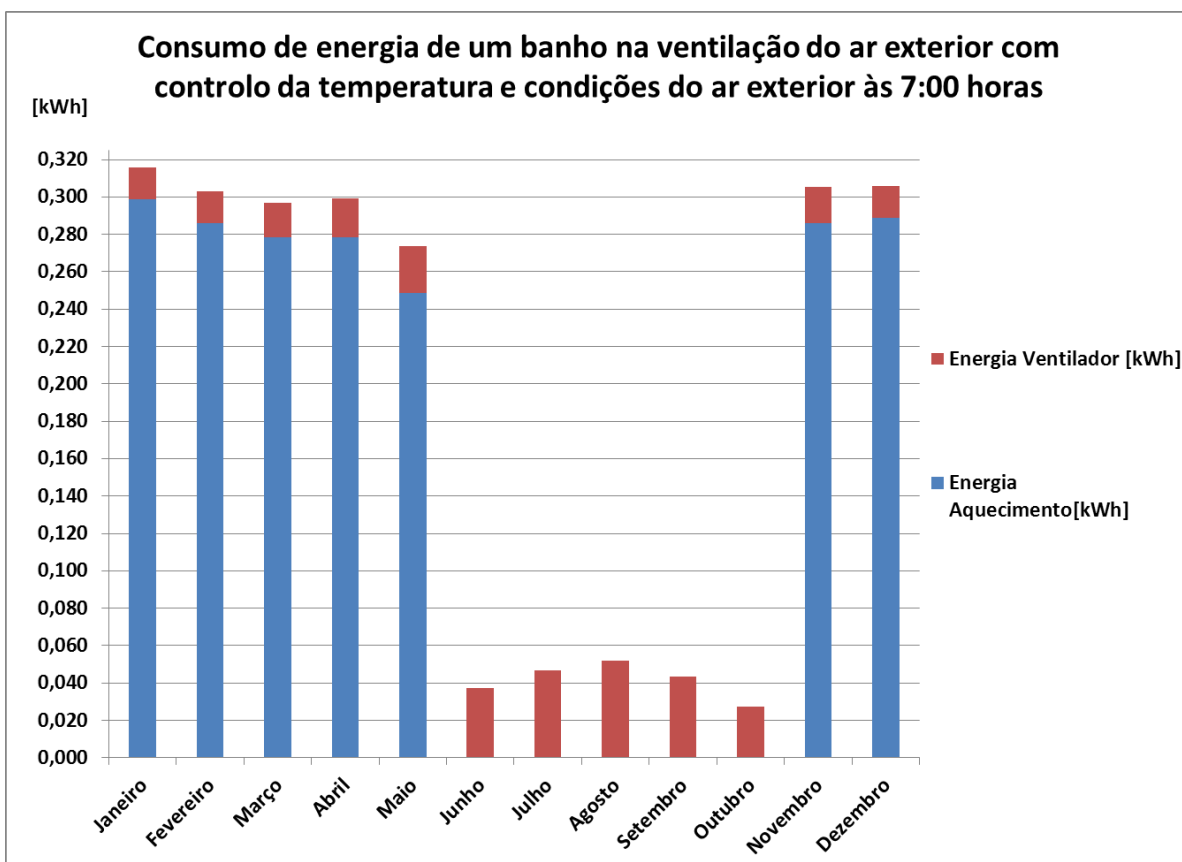


Figura 19 – Gráfico do consumo de energia no controlo da humidade de um banho por ventilação com ar exterior nas condições às 7:00 horas com controlo da temperatura

### 6.2.6 Consumo de energia com ar exterior nas condições às 7:00 horas sem controlo da temperatura

Na Tabela 12 e Figura 20, estão representados os resultados do processo de cálculo utilizado para o consumo de energia de um banho nas condições às 7:00 horas sem controlo da temperatura.

Tabela 12 – Folha de cálculo do consumo de energia com ar exterior nas condições às 7:00 horas sem controlo da temperatura

Para um banho												
Mês	Massa de ar necessária [kg]	Caudal de ar [kg/s]	Calor sensível [kJ]	HR [%]	Vapor que o ar pode absorver [g/kg]	h após aquecimento [kJ/kg]	Rph	Pot. Aquecimento [kW]	Pot. Ventilador [kW]	Energia Aquecimento [kWh]	Energia Ventilador [kWh]	Energia Total [kWh]
Janeiro	74,3	0,138	0,000	92	6,726	18,098	51	0,000	0,115	0,000	0,017	0,017
Fevereiro	73,2	0,135	0,000	90	6,834	18,218	50	0,000	0,113	0,000	0,017	0,017
Março	79,8	0,148	0,000	88	6,262	21,208	55	0,000	0,123	0,000	0,018	0,018
Abril	90,7	0,168	0,000	87	5,516	24,603	62	0,000	0,140	0,000	0,021	0,021
Maió	107,2	0,199	0,000	86	4,664	29,466	74	0,000	0,165	0,000	0,025	0,025
Junho	160,1	0,297	0,000	86	3,122	36,147	110	0,000	0,247	0,000	0,037	0,037
Julho	201,2	0,373	0,000	87	2,485	39,306	138	0,000	0,311	0,000	0,047	0,047
Agosto	223,4	0,414	0,000	89	2,238	39,265	153	0,000	0,345	0,000	0,052	0,052
Setembro	187,6	0,347	0,000	91	2,665	36,970	129	0,000	0,290	0,000	0,043	0,043
Outubro	118,8	0,220	0,000	92	4,210	30,385	81	0,000	0,183	0,000	0,027	0,027
Novembro	83,1	0,154	0,000	92	6,017	21,983	57	0,000	0,128	0,000	0,019	0,019
Dezembro	73,3	0,136	0,000	90	6,819	18,144	50	0,000	0,113	0,000	0,017	0,017

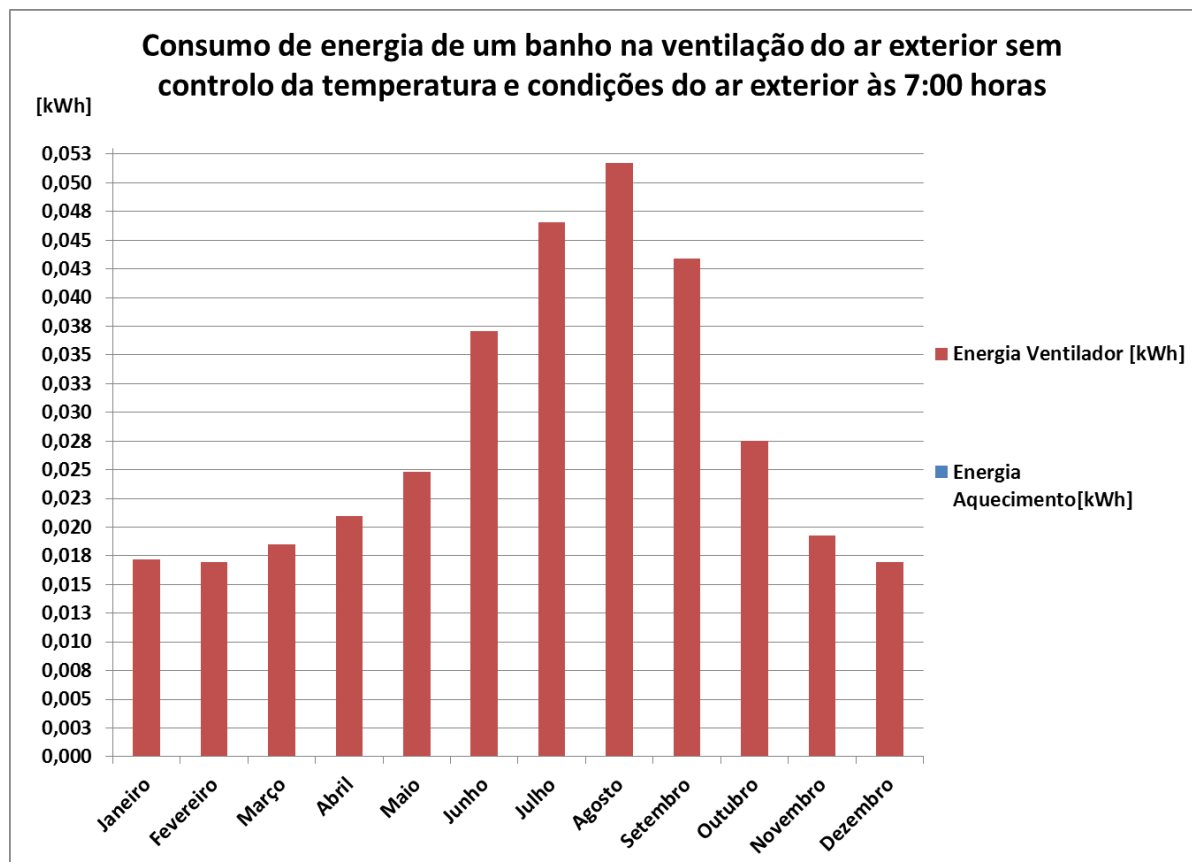


Figura 20 – Gráfico do consumo de energia no controlo da humidade de um banho por ventilação com ar exterior nas condições às 7:00 horas sem controlo da temperatura

### 6.2.7 Considerações adicionais sobre a ventilação com ar exterior

No gráfico da Figura 21, onde está representado o consumo total de energia por mês da ventilação com ar exterior para cada condição do ar exterior, pode-se desde já tirar algumas conclusões.

Como já era de esperar com as condições do ar exterior adversas o consumo de energia é maior do que com as restantes condições do ar exterior. A nível energético a diferença entre a ventilação do ar exterior com e sem controlo da temperatura, é de cerca 93% (em média), ou seja com o controlo de temperatura o consumo de energia é 93% maior do que o consumo de energia só com ventilação do ar exterior sem controlo da temperatura.

Com a observação dos resultados da taxa de renovação de ar por hora da Tabela 7 à Tabela 12, verifica-se que são superiores a 10 Rph [4]. Na época de verão os resultados das taxas de renovação por hora são também elevadas. Isto justifica-se porque o ar exterior no verão normalmente possui temperaturas mais elevadas contendo também uma humidade absoluta mais elevada do que no resto dos outros meses de inverno, logo tem menos capacidade para absorver vapor de água, então é necessário insuflar maiores quantidades de massa de ar seco exterior para retirar o ar saturado do interior do espaço do banho.

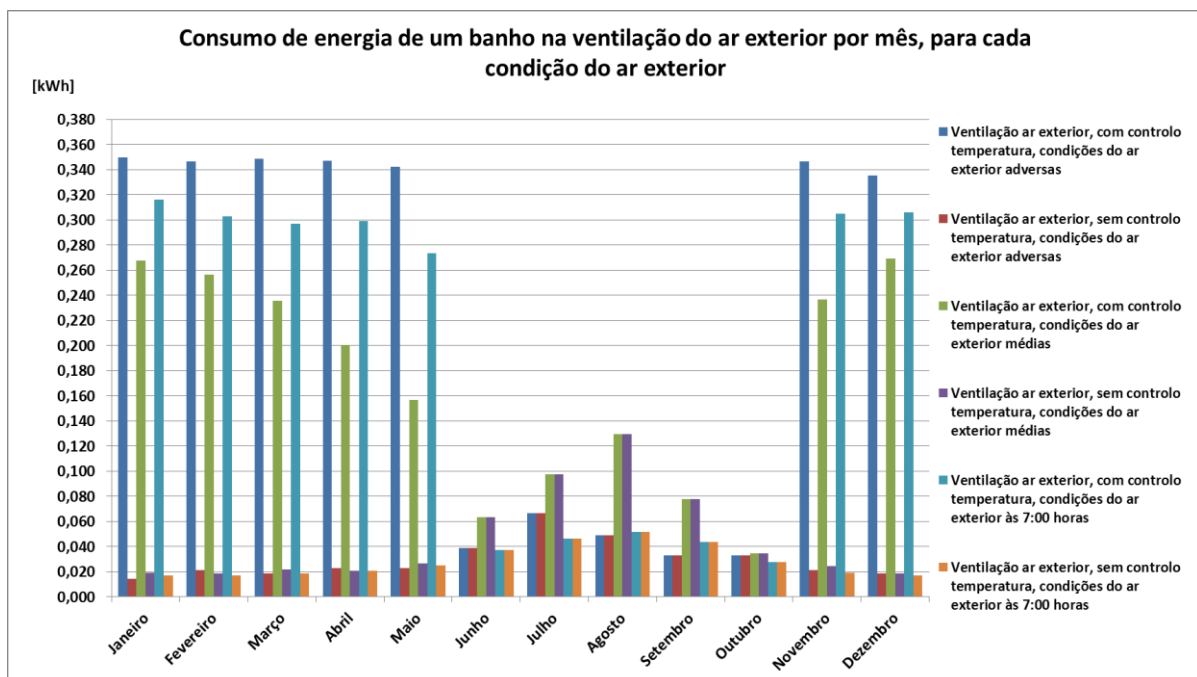


Figura 21 – Gráfico do consumo de energia de um banho na ventilação com ar exterior para cada condição do ar exterior

### 6.3 Desumidificação por condensação

A desumidificação por condensação é efetuada através de um desumidificador, para o que se estabeleceram alguns aspetos das características do mesmo e do ar interior para o cálculo do consumo energético, que foram:

- Estado psicrométrico inicial do ar no interior da casa de banho é de  $T=20^{\circ}\text{C}$  e  $\text{HR}=50\%$
- O desumidificador tem uma regulação de humidade relativa e vai estar na gama entre 50% e 80%, ou seja quando o ar interior atingir  $\text{HR}=80\%$  ele vai ligar e só desliga quando o ar estiver com  $\text{HR}=50\%$ .
- Fizeram-se incrementos de 10 segundos para determinar a evolução psicrométrica do ar interior durante os 9 minutos do banho.
- O desumidificador tem um  $\text{COP} = 3$ .
- A potência do desumidificador é de 2,030 kW, esta potência foi calculada pela equação 11.

$$\dot{Q}_{\text{desu}} = \frac{m_{\text{v.remove}} \times h_{\text{lv},45^{\circ}\text{C}}}{t_{\text{banho}}} \quad (11)$$

Onde:

$\dot{Q}_{\text{desu}}$  – Potência térmica do desumidificador [kW]

$m_{\text{v.remove}}$  – Massa de vapor que o ar ainda não absorveu até atingir a primeira vez a humidade relativa de 80% [kg]

$h_{\text{lv},45^{\circ}\text{C}}$  – Calor latente de vaporização da água a  $45^{\circ}\text{C}$  [kJ/kg]

$t_{\text{banho}}$  – Duração do banho (9 minutos) [s]

Desprezou-se quaisquer condensações que possam surgir nas envolventes do espaço.

#### 6.3.1 Desumidificação com ar de fronteira adiabática

Na desumidificação com ar de fronteira adiabática, considerou-se que o espaço onde se está realizar o banho é um sistema sem trocas de calor do ar interior para a envolvente, ou seja é um sistema isolado termicamente. O ar interior vai ter uma acumulação de calor sensível (aumento de temperatura) proveniente do desumidificador e do vapor de água, e uma acumulação de calor latente proveniente do vapor de água.

No Anexo B está representada numa tabela os resultados do cálculo da evolução psicrométrica do ar pela desumidificação com ar de fronteira adiabática. O processo de cálculo será explicado a seguir.

A cada linha da tabela corresponde a 10 segundos, e são efetuados cálculos para determinar os pontos psicrométricos do ar interior do espaço de banho para cada etapa no processo de desumidificação com ar adiabático. Vão ser apresentados alguns excertos da tabela do Anexo B para melhor compreensão da leitura dos valores representados da mesma.

O estado psicrométrico inicial ( $\Delta t = 0$ ) do ar é  $T=20^{\circ}\text{C}$  e  $\text{HR}=50\%$  (ver Tabela 13, indicado a vermelho).

Tabela 13 – Excerto da folha de cálculo da desumidificação com ar de fronteira adiabática

Ar				Estado final					
h após absorção do vapor [kJ/kg]	w [g/kg]	T após absorção [°C]	RH [%]	Tempo Total [s]	T [°C]	RH [%]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	Vapor "retirado" [kg]
0,00	0,000	0,0	0,0	0	20,0	50,0	38,60	7,300	0,000
41,06	8,253	20,0	56,5	10	20,0	56,5	41,06	8,253	0,009
43,52	9,205	20,0	62,7	20	20,0	62,7	43,52	9,205	0,019
45,98	10,158	20,1	68,9	30	20,1	68,9	45,98	10,158	0,028
48,44	11,110	20,1	75,1	40	20,1	75,1	48,44	11,110	0,037
50,90	12,063	20,2	81,2	50	20,2	81,2	50,90	12,063	0,046
53,89	12,143	22,9	69,2	60	22,9	69,2	53,89	12,143	0,056
56,88	12,223	25,6	59,2	70	25,6	59,2	56,88	12,223	0,065
59,88	12,303	28,3	50,8	80	28,3	50,8	59,88	12,303	0,074
62,87	12,383	31,0	43,7	90	31,0	43,7	62,87	12,383	0,083

Nos 10 segundos a seguir (segunda linha) o ar tem capacidade de absorver humidade; então o desumidificador encontra-se desligado, e começa o processo de absorção do vapor libertado pela água do chuveiro a 45°C. Então é determinado o caudal de vapor libertado pelo chuveiro, a massa de vapor libertada, a massa de vapor absorvida, a entalpia e humidade absoluta após a absorção do vapor respetivamente pelas equações que se seguem.

$$\dot{m}_v = \frac{m_v}{\text{Tempo do banho}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (12)$$

$$m_{v,p} = \dot{m}_v \times \Delta t \text{ [kg] , } \Delta t = 10 \text{ [s]} \quad (13)$$

$$m_{v,ab} = m_{v,p} \text{ , porque só existe absorção} \quad (14)$$

$$h_{a,ab} = h_{\text{linha anterior do estado final}} + \frac{m_{v,ab} \times h_{v,45^\circ\text{C}}}{m_{ar}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (15)$$

$$w_{a,ab} = w_{\text{linha anterior do estado final}} + \frac{m_{v,ab}}{m_{ar}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right] \quad (16)$$

Onde:

$m_{v,p}$  – Massa de vapor libertado [kg]

$\Delta t$  – incremento de tempo [s]

$m_{v,ab}$  – Massa de vapor absorvida [kg]

$h_{a,ab}$  – Entalpia do ar após a absorção do vapor [kJ/kg]

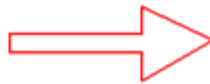
$h_{v,45^\circ\text{C}}$  – Entalpia do vapor de água à temperatura de 45°C [kJ/kg]

$w_{a,ab}$  – Humidade absoluta do ar após a absorção do vapor [g/kg]

O cálculo da temperatura e humidade relativa após a absorção do vapor é determinado pela intersecção das linhas de entrada no diagrama psicrométrico da entalpia ( $h_{a.ab.}$ ) e humidade absoluta ( $w_{a.ab.}$ ) já calculados pelas equações 15 e 16. A coluna com o nome “Estado final” é onde indica o estado final ao fim dos 10 segundos de todo o processo de desumidificação, e é igual ao estado após a absorção de vapor ao fim desse tempo na coluna com o nome “Ar”. Na Tabela 14 está representado o sentido da leitura dos resultados.

Tabela 14 – Excerto da folha de cálculo do controlo da humidade por desumidificação com ar de fronteira adiabática

Caudal de vapor [kg/s]	Massa vapor “produzido” [kg]	ON/Off	Ar						Estado final					
			Tempo de absorção [s]	Vapor absorvido [kg]	h após absorção do vapor [kJ/kg]	w [g/kg]	T após absorção [°C]	RH [%]	Tempo Total [s]	T [°C]	RH [%]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	Vapor “retirado” [kg]
0,00000	0,0000	Off	0	0,0000	0,00	0,000	0,0	0,0	0	20,0	50,0	38,60	7,300	0,000
0,00093	0,0093	Off	10	0,0093	41,06	8,253	20,0	56,5	10	20,0	56,5	41,06	8,253	0,009
0,00093	0,0093	Off	10	0,0093	43,52	9,205	20,0	62,7	20	20,0	62,7	43,52	9,205	0,019
0,00093	0,0093	Off	10	0,0093	45,98	10,158	20,1	68,9	30	20,1	68,9	45,98	10,158	0,028
0,00093	0,0093	Off	10	0,0093	48,44	11,110	20,1	75,1	40	20,1	75,1	48,44	11,110	0,037
0,00093	0,0093	Off	10	0,0093	50,90	12,063	20,2	81,2	50	20,2	81,2	50,90	12,063	0,046
0,00093	0,0093	On	10	0,0008	53,89	12,143	22,9	69,2	60	22,9	69,2	53,89	12,143	0,056



Quando o ar interior do espaço do banho atingir uma humidade relativa igual ou superior a 80% o desumidificador começa a funcionar e é na coluna “ON/OFF” que se indica quando o mesmo está ligado ou desligado.

Quando o desumidificador está ligado ele vai remover uma certa quantidade do vapor produzido e conseqüentemente vai haver um aumento da temperatura e diminuição da humidade relativa do ar interior, mas ao mesmo tempo que o desumidificador está a retirar vapor, o ar também absorve o vapor restante que o desumidificador ainda não condensou. As equações utilizadas para calcular o estado final do ar ao fim de 10s quando o desumidificador está ligado são as seguintes:

$$\dot{m}_v = \frac{m_v}{\text{Tempo do banho}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (17)$$

$$m_{v.p.} = \dot{m}_v \times \Delta t \text{ [kg] , } \Delta t = 10 \text{ [s]} \quad (18)$$

$$Q_{s.lib.} = \dot{Q}_{desu.} \times \Delta t \times \left( 1 + \frac{1}{COP} \right) \text{ [kJ]} \quad (19)$$

$$m_{v.re.} = \frac{Pot_{desu.} \times \Delta t}{h_{lv.45^\circ C}} \text{ [kg]} \quad (20)$$

$$h_{a.des.} = h_{\text{linha anterior do estado final}} + \frac{Q_{s.lib.}}{m_{ar\ seco}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (21)$$

$$W_{a.des.} = W_{\text{linha anterior do estado final}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right] \quad (22)$$

Onde:

$Q_{s.lib.}$  – Calor sensível libertado pelo desumidificador [kJ]

$\dot{Q}_{desu}$  – Potência térmica do desumidificador [kW]

COP – Coeficiente de performance do desumidificador [-]

$m_{v.re}$  – Massa de vapor removida pelo desumidificador [kg]

$h_{a.des.}$  – Entalpia do ar após a desumidificação [kJ/kg]

$w_{a.des.}$  – Humidade absoluta do ar após a desumidificação [g/kg]

Após efetuados os cálculos pela ordem respetiva de apresentação das equações em cima, determinou-se a temperatura e humidade relativa pelo diagrama psicrométrico com a intersecção das linhas de entrada de entalpia ( $h_{a.des.}$ ) e humidade absoluta ( $w_{a.des.}$ ) após a desumidificação, estes resultados correspondem à coluna com o nome “Desumidificador”.

Depois na mesma linha ou seja ao mesmo tempo (nos mesmos 10s), o ar absorve o restante vapor que o desumidificador não conseguiu remover/condensar, então foram utilizadas pela ordem de apresentação as seguintes equações:

$$m_{v.ab.} = m_{v.p.} - m_{v.re.} \quad [\text{kg}] \quad (23)$$

$$h_{a.ab.} = h_{a.des.} + \frac{m_{v.a.} \times h_{v.45^\circ\text{C}}}{m_{ar}} \quad \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (24)$$

$$w_{a.ab.} = w_{a.des.} + \frac{m_{v.ab.}}{m_{ar}} \quad \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right] \quad (25)$$

A determinação da temperatura e humidade relativa após a absorção do restante vapor que não foi condensado é efetuada pelo diagrama psicrométrico com intersecção das linhas de entrada da entalpia ( $h_{a.ab.}$ ) e humidade absoluta ( $w_{a.ab.}$ ) calculadas pelas equações 24 e 25. Então após este processo obteve-se o estado psicrométrico final (coluna com o nome “Estado final) que é igual ao ponto psicrométrico após a absorção do restante vapor que não é condensado/removido pelo desumidificador (coluna com o nome “Ar”).

No gráfico da Figura 22, pode-se observar o comportamento da temperatura e humidade relativa em função do tempo. É perceptível ver ao fim de quanto tempo o desumidificador começa a funcionar, pelos pontos onde ultrapassa a humidade relativa máxima de 80%. À medida que a temperatura do ar é maior o este tem mais capacidade de absorção de vapor, daí o desumidificador estar cada vez mais tempo desligado. Quando o desumidificador está ligado existe uma diminuição da humidade relativa, mas com a consequência de um aumento da temperatura.

O objetivo principal da realização da tabela no Anexo B, foi para calcular o tempo de funcionamento do desumidificador. Então fez-se o somatório dos intervalos de tempo em que o desumidificador está ligado e o resultado é de 120s.

Como a potência térmica do desumidificador é de 2,030 kW a energia térmica libertada pelo desumidificador ligado durante 120s é de 0,068 kWh, durante um banho de 9 minutos. A energia elétrica consumida pelo desumidificador durante um banho é de 0,023 kWh tendo em conta que o desumidificador possui um COP=3.

Na Figura 23 está representado no diagrama psicrométrico a evolução do ar durante um banho com o controlo de humidade por desumidificação com ar adiabático. A cada ponto representado no diagrama psicrométrico tem uma legenda na forma “50s\_20,2°C\_81,2%”, que quer dizer, que o ponto ao fim de 50 segundos o ar está com temperatura de 20,2°C e humidade relativa de 81,2%.

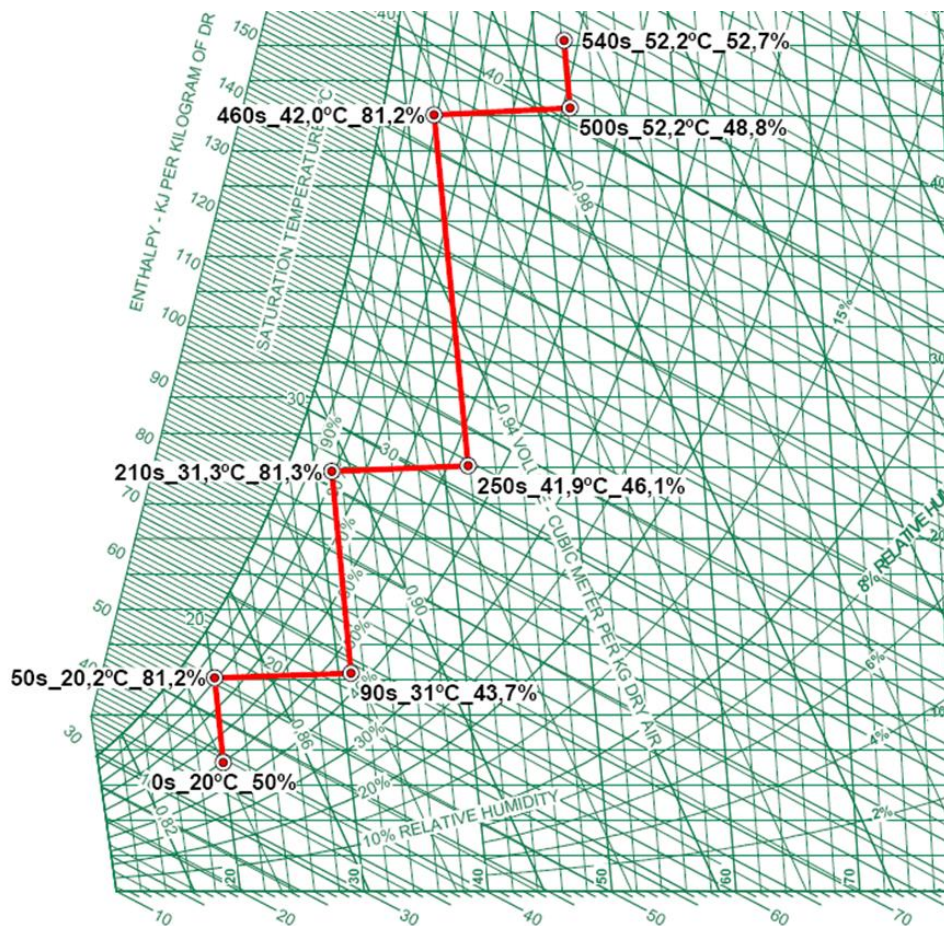


Figura 23 – Evolução psicrométrica do ar no controlo da humidade num banho por desumidificação com ar de fronteira adiabática

### 6.3.2 Considerações adicionais sobre a desumidificação com ar de fronteira adiabática

Na desumidificação com ar de fronteira adiabática o ar interior ao fim de um banho acaba com uma temperatura superior à temperatura da própria água que sai do chuveiro. Isto pode-se justificar pelo facto de que se tratou de um sistema fechado e o ar não dissipa o calor sensível recebido.

A potência do desumidificador podia ser ainda menor, visto que ele só trabalha 120s, mas tal não iria diminuir o consumo de energia porque menor potência significa que vai ter de estar ligado mais tempo, devido a ter menos capacidade de condensar o ar saturado.

O tempo de funcionamento do desumidificador é também influenciado pela gama de humidade relativa que se está a considerar.

Na observação da evolução do ar no diagrama psicrométrico no Anexo E, verifica-se quando o desumidificador está em funcionamento é quando a evolução é quase horizontal aumentando a temperatura.

### 6.3.3 Desumidificação com ar isotérmico

Na desumidificação com ar isotérmico considerou-se que o ar dissipa todo o calor sensível recebido para a envolvente, ou seja mantém sempre a sua temperatura.

Os resultados do cálculo da evolução psicrométrica do ar interior com o processo de desumidificação com ar isotérmico estão no Anexo C. As equações utilizadas no cálculo vão ser apresentadas a seguir.

Cada linha da tabela do Anexo C corresponde a 10s no tempo do processo de desumidificação.

O estado psicrométrico inicial ( $\Delta t=0$ ) do ar interior é  $T=20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{HR}=50\%$  (ver Tabela 15).

Tabela 15 – Excerto da folha de cálculo da desumidificação com ar isotérmico

Ar				Estado final					
h após absorção do vapor [kJ/kg]	w [g/kg]	T após absorção [°C]	RH [%]	Tempo Total [s]	T [°C]	RH [%]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	Vapor "retirado" [kg]
0,000	0,000	0,0	0,0	0	20,0	50,0	38,600	7,300	0,000
41,060	8,253	20,0	56,5	10	20,0	56,5	41,060	8,253	0,009
43,520	9,205	20,0	62,7	20	20,0	62,7	43,520	9,205	0,019
45,980	10,158	20,1	68,9	30	20,1	68,9	45,980	10,158	0,028
48,440	11,110	20,1	75,1	40	20,1	75,1	48,440	11,110	0,037
50,900	12,063	20,2	81,2	50	20,2	81,2	50,900	12,063	0,046
48,853	11,270	20,1	76,1	60	20,1	76,1	48,853	11,270	0,056

Nos primeiros 10 segundos há introdução de vapor de água a  $45^{\circ}\text{C}$  no espaço. Como o ar está com humidade relativa de 50% vai ter capacidade de absorver uma certa massa de vapor que é introduzido no espaço, as equações que são utilizadas para o cálculo da absorção de vapor sem que o desumidificador esteja ligado são as seguintes:

$$\dot{m}_v = \frac{m_v}{\text{Tempo do banho}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (26)$$

$$m_{v,p} = \dot{m}_v \times \Delta t \text{ [kg] , } \Delta t = 10 \text{ [s]} \quad (27)$$

$$m_{v,ab} = m_{v,p} \text{ [kg] , porque só existe absorção} \quad (28)$$

$$h_{a,ab} = h_{\text{linha anterior do estado final}} + \frac{m_{v,a} \times h_{v,45^\circ\text{C}}}{m_{ar}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (29)$$

$$W_{a,ab} = W_{\text{linha anterior do estado final}} + \frac{m_{v,ab}}{m_{ar}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right] \quad (30)$$

O cálculo da temperatura e humidade relativa após a absorção do vapor é determinado pela intersecção das linhas de entrada no diagrama psicrométrico da entalpia ( $h_{a,ab}$ ) e humidade absoluta ( $w_{a,ab}$ ) já calculados pelas equações 29 e 30. A coluna com o nome “Estado final” é onde se indica o estado final ao fim dos 10 segundos de todo o processo de desumidificação, e é igual ao estado após a absorção de vapor ao fim desse tempo na coluna com o nome “Ar”. Na Tabela 16 está representado o sentido da leitura dos resultados.

Tabela 16 – Excerto da folha de cálculo do controlo da humidade por desumidificação com ar isotérmico.

Caudal de vapor [kg/s]	Massa vapor "produzido" [kg]	ON/OFF	RH [%]	Ar						Estado final					
				Tempo de absorção [s]	Vapor absorvido [kg]	h após absorção do vapor [kJ/kg]	w [g/kg]	T após absorção [°C]	RH [%]	Tempo Total [s]	T [°C]	RH [%]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	Vapor "retirado" [kg]
0,00000	0,0000	Off	0,0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0	0,0	0	20,0	50,0	38,600	7,300	0,000
0,00093	0,0093	Off	0,0	10	0,0093	41,060	8,253	20,0	56,5	10	20,0	56,5	41,060	8,253	0,009
0,00093	0,0093	Off	0,0	10	0,0093	43,520	9,205	20,0	62,7	20	20,0	62,7	43,520	9,205	0,019
0,00093	0,0093	Off	0,0	10	0,0093	45,980	10,158	20,1	68,9	30	20,1	68,9	45,980	10,158	0,028
0,00093	0,0093	Off	0,0	10	0,0093	48,440	11,110	20,1	75,1	40	20,1	75,1	48,440	11,110	0,037
0,00093	0,0093	Off	0,0	10	0,0093	50,900	12,063	20,2	81,2	50	20,2	81,2	50,900	12,063	0,046
0,00093	0,0093	On	75,6	10	0,0008	48,853	11,270	20,1	76,1	60	20,1	76,1	48,853	11,270	0,056



É efetuado o mesmo cálculo com as equações 26 a 30 linha a linha, ou seja de 10 em 10 segundos até que o ar atinga uma humidade relativa de 80%. Quando é atingido a humidade relativa máxima (HR=80%) o desumidificador começa a funcionar e então o cálculo do estado psicrométrico final é efetuado por duas etapas, que são a parte do desumidificador e depois a absorção do restante vapor que o desumidificador não conseguiu condensar, então as equações utilizadas são as seguintes pela ordem de apresentação.

Na parte do desumidificador:

$$\dot{m}_v = \frac{m_v}{\text{Tempo do banho}} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad (31)$$

$$m_{v.p.} = \dot{m}_v \times \Delta t \text{ [kg] , } \Delta t = 10 \text{ [s]} \quad (32)$$

$$Q_{s.lib.} = 0 \text{ [kJ]}, \text{ o ar não vai receber calor libertado} \quad (33)$$

$$m_{v.re.} = \frac{Pot_{desu.} \times \Delta t}{h_{lv.45^\circ C}} \text{ [kg]} \quad (34)$$

$$h_{a.des.} = h_{\text{linha anterior do estado final}} - \frac{Q_{s.lib.}}{m_{ar}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (35)$$

$$w_{a.des.} = w_{\text{linha anterior do estado final}} - \frac{m_{v.re.}}{m_{ar}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right] \quad (36)$$

Com a entalpia ( $h_{a.des.}$ ) e humidade absoluta ( $w_{a.des.}$ ) após a desumidificação já calculadas pelas equações 35 e 36, determinou-se a temperatura e humidade relativa com recurso ao diagrama psicrométrico.

Na parte de absorção:

$$m_{v.ab.} = m_{v.p.} - m_{v.re.} \text{ [kg]} \quad (37)$$

$$h_{a.ab.} = h_{a.des.} + \frac{m_{v.a} \times h_{v.45^\circ C}}{m_{ar}} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (38)$$

$$w_{a.ab.} = w_{a.des.} + \frac{m_{v.ab.}}{m_{ar}} \left[ \frac{\text{g}}{\text{kg}} \right] \quad (39)$$

A temperatura e humidade relativa são determinadas com recurso ao diagrama psicrométrico pela entalpia ( $h_{a.ab.}$ ) e humidade absoluta ( $w_{a.ab.}$ ) após absorção do restante vapor que não foi condensado. O estado psicrométrico final é igual ao estado do ar da coluna “AR” da tabela no Anexo C.

Na Figura 24, está representado um gráfico da temperatura e humidade relativa em função do tempo de um banho.

Depois de realizado o somatório do tempo de funcionamento do desumidificador, calculou-se a energia consumida pelo mesmo. Como a potência térmica do desumidificador é de 2,030 kW a energia térmica libertada pelo desumidificador ligado durante 280s é de 0,158 kWh, durante um banho de 9 minutos. A energia elétrica requerida pelo desumidificador durante um banho é de 0,053 kWh tendo em conta que este tem um COP=3.

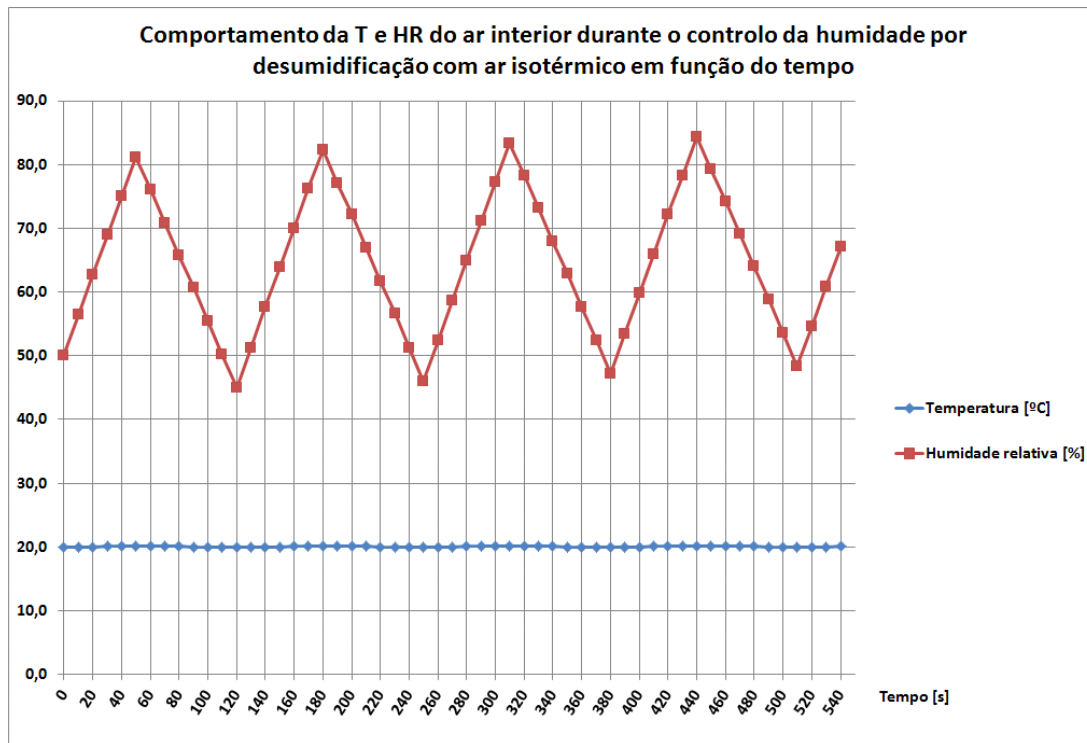


Figura 24 – Evolução da temperatura e humidade relativa em função do tempo no controlo da humidade com desumidificação com ar isotérmico.

Na Figura 25, está representado no diagrama psicrométrico a evolução do ar num banho com o controlo de humidade por desumidificação com ar isotérmico. Os pontos estão com uma legenda em que só indica o tempo que demora até chegar ao respetivo ponto. Devido aos pontos estarem com uma localização muito próxima, não se consegue visualizar todos.

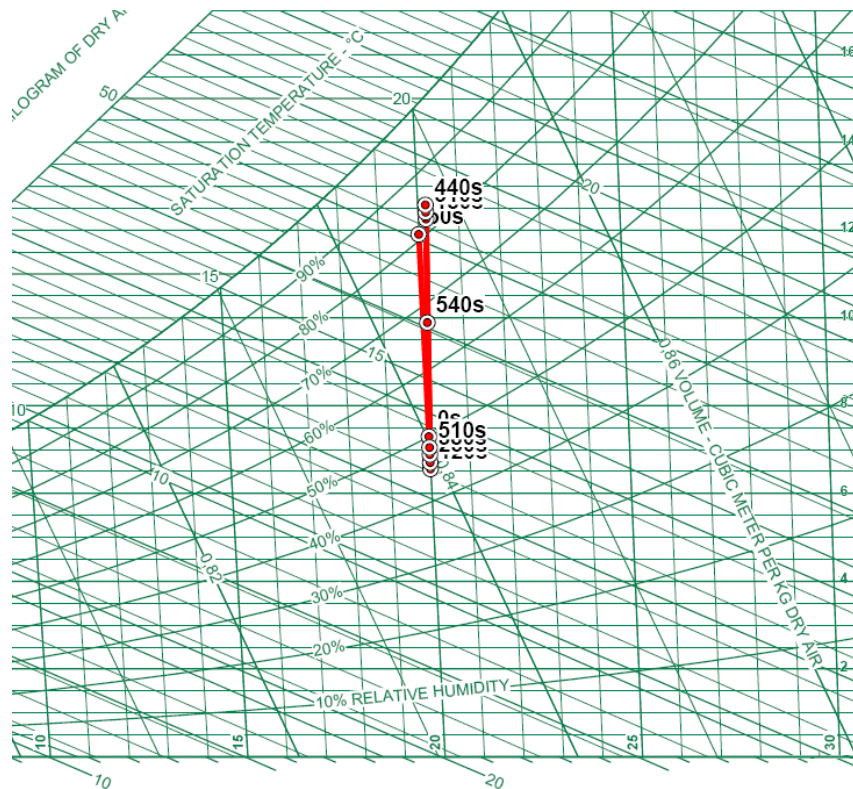


Figura 25 – Evolução psicrométrica do ar no controlo da humidade num banho por desumidificação com ar isotérmico

#### 6.3.4 Considerações adicionais sobre a desumidificação com ar isotérmico

Como era de esperar a temperatura do ar interior praticamente não varia, ou seja mantém-se constante e em consequência o desumidificador vai estar mais tempo a funcionar para retirar o vapor adicionado porque, como a temperatura do ar não aumenta o mesmo tem sempre a mesma capacidade de absorção de vapor de água.

O intervalo de tempo de funcionamento do desumidificador é sempre o mesmo, cerca de 70 segundos, bem como o tempo de absorção de vapor sem que o desumidificador esteja ligado também é regular, cerca de 60 segundos (ver Figura 24).

Na observação da evolução do ar no diagrama psicrométrico na Figura 25, verifica-se que o ar tem uma evolução quase vertical ascendente, devido à absorção de vapor, e uma evolução vertical descendente devido à desumidificação.



## 7 Comparação de resultados

Para fazer a comparação dos resultados do consumo de energia das várias estratégias possíveis de adotar para o controlo de humidade num espaço de banho, considerou-se como referência que são efetuados dois banhos por dia todos os dias de cada mês do ano. Como foi feito o cálculo do consumo de energia de um banho, teve-se que multiplicar esse valor pelo número de banhos e pelo número de dias de cada mês do ano para obter o consumo de energia total por mês e total anual. Na Tabela 17 à Tabela 19, estão representados os resultados do consumo total de energia por mês, anual e custo monetário para cada condição do ar exterior considerada.

Para melhor visualização e comparação dos resultados do consumo de energia foram efetuados três gráficos do consumo de energia por mês para cada estratégia de controlo de humidade adotada e para cada tipo de condições do ar exterior consideradas (ver Figura 26).

Na comparação dos gráficos da Figura 26, observa-se logo em primeiro lugar que o consumo de energia é mais reduzido nos meses de verão porque normalmente não se faz controlo da temperatura do ar exterior que vai entrar para o interior do espaço de banho. Mas observando a linha verde que corresponde ao consumo de energia da ventilação com ar exterior sem controlo de temperatura, nos meses de verão é mais elevado que nos meses de inverno porque nos meses de verão é necessário mais caudal de ar exterior para poder remover o vapor adicionado.

À medida que os meses de inverno se vão afastando dos meses de verão, ou seja as temperaturas começam a ser mais baixas o consumo de energia na ventilação tem uma tendência a decrescer, exceto na ventilação com ar exterior e sem controlo da temperatura, onde tem uma tendência a aumentar.

Como esperado o consumo de energia em qualquer estratégia adotada para o controlo da humidade, exceto na desumidificação, é sempre mais elevado quando existe controlo de temperatura ou seja aquecimento do ar exterior.

Com o controlo de humidade pelo processo de desumidificação verifica-se que o consumo de energia não depende das condições psicrométricas do ar exterior e é sempre constante ao longo dos meses. Na desumidificação com ar isotérmico obteve-se um maior consumo energético do que na desumidificação com ar de fronteira adiabático porque com o ar isotérmico o mesmo não aumenta a temperatura, por isso não consegue aumentar a sua capacidade de absorção de vapor “gratuita”, logo o desumidificador tem de estar em funcionamento mais tempo.

Comparando na Figura 26 o gráfico do consumo de energia no controlo da humidade com condições do ar exterior adversas, com o gráfico do consumo de energia no controlo da humidade com condições do ar exterior às 7:00 horas, verifica-se que são bastante semelhantes na ventilação com ar exterior e com controlo de temperatura.

A estratégia de controlo de humidade por ventilação que consome menos energia sem ter em conta o consumo de energia nos meses de verão é a ventilação com ar exterior sem controlo da temperatura, mas esta estratégia tem uma consequência que é não haver aquecimento do ar exterior que vai entrar no espaço de banho, logo é posto em causa o conforto térmico.

Se tiver em conta o conforto térmico, a estratégia que menos requer energia é a desumidificação, seja com ar de fronteira adiabática ou com ar isotérmico. Mesmo comparando todas as soluções a desumidificação com ar de fronteira adiabática é a menos penalizante em termos de consumo de energia (ver gráfico da Figura 27).

A ventilação com ar interior é a que consome mais energia porque o ar que vai entrar no espaço de banho vai ser aquecido no espaço adjacente, e também assumiu-se que esse mesmo ar aquecido absorve algum vapor proveniente de plantas, da transpiração humana e roupa húmida, antes de entrar no espaço de banho (ver gráfico da Figura 27).

Na Figura 28 está representado o custo monetário em euros anual de cada tipo de estratégia típica adotada no controlo da humidade no espaço de banho. Para o cálculo do custo monetário da energia que é consumida consultou-se [5], mas como as tarifas variam consoante o tipo de consumidor, considerou-se que o custo da energia é de 0,15€ / kWh.

Tabela 17 – Consumo de energia por mês no controlo da humidade com condições do ar exterior adversas

Consumo de energia/mês no controlo da humidade com condições do ar exterior adversas														
Tipo de controlo da Humidade	Energia consumida/mês [kWh]												Total Anual [kWh]	€/ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Ventilação ar interior, com controlo temperatura, condições do ar exterior adversas	39,3	24,0	30,7	23,7	24,4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	25,7	29,5	205,3	30,8
Ventilação ar exterior, com controlo temperatura, condições do ar exterior adversas	21,7	19,4	21,6	20,8	21,2	2,3	4,1	3,0	2,0	2,0	20,8	20,8	159,9	24,0
Ventilação ar exterior, sem controlo temperatura, condições do ar exterior adversas	0,9	1,2	1,1	1,4	1,4	2,3	4,1	3,0	2,0	2,0	1,3	1,1	21,9	3,3
Desumidificação com ar de fronteira adiabática	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	16,5	2,5
Desumidificação com ar Isotérmico	3,3	2,9	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	38,4	5,8

Tabela 18 – Consumo de energia por mês no controlo da humidade com condições do ar exterior médias

Consumo de energia/mês no controlo da humidade com condições do ar exterior médias														
Tipo de controlo da Humidade	Energia consumida/mês [kWh]												Total Anual [kWh]	€/ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Ventilação ar interior, com controlo temperatura, condições do ar exterior médias	22,5	20,1	17,6	15,0	9,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	15,2	23,3	131,3	19,7
Ventilação ar exterior, com controlo temperatura, condições do ar exterior médias	16,6	14,4	14,6	12,0	9,7	3,8	6,0	8,0	4,7	2,2	14,2	16,7	122,9	18,4
Ventilação ar exterior, sem controlo temperatura, condições do ar exterior médias	1,2	1,0	1,3	1,3	1,6	3,8	6,0	8,0	4,7	2,2	1,5	1,2	33,8	5,1
Desumidificação com ar de fronteira adiabática	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	16,5	2,5
Desumidificação com ar Isotérmico	3,3	2,9	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	38,4	5,8

Tabela 19 – Consumo de energia por mês no controlo da humidade com condições do ar exterior às 7:00 horas

Consumo de energia/mês no controlo da humidade com condições do ar exterior às 7:00 horas														
Tipo de controlo da Humidade	Energia consumida/mês [kWh]												Total Anual [kWh]	€/ano
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Ventilação ar interior, com controlo temperatura, condições do ar exterior às 7:00 horas	29,7	26,1	26,0	22,3	17,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	24,8	29,2	184,0	27,6
Ventilação ar exterior, com controlo temperatura, condições do ar exterior às 7:00 horas	19,6	17,0	18,4	18,0	17,0	2,2	2,9	3,2	2,6	1,7	18,3	19,0	139,8	21,0
Ventilação ar exterior, sem controlo temperatura, condições do ar exterior às 7:00 horas	1,1	0,9	1,1	1,3	1,5	2,2	2,9	3,2	2,6	1,7	1,2	1,1	20,8	3,1
Desumidificação com ar de fronteira adiabática	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	16,5	2,5
Desumidificação com ar Isotérmico	3,3	2,9	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	3,3	3,2	3,3	3,2	3,3	38,4	5,8

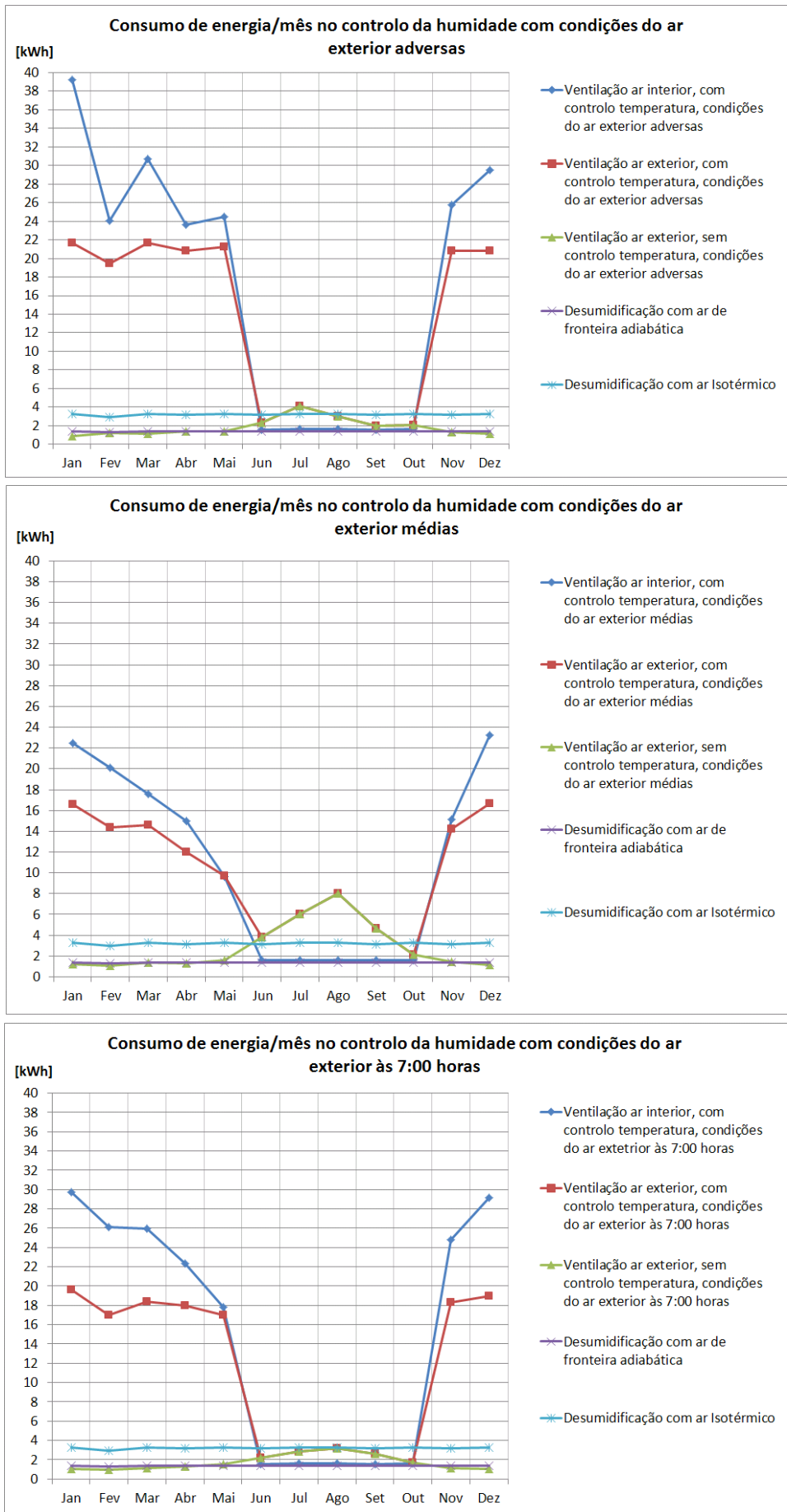


Figura 26 – Consumo energético por mês no controlo da humidade para cada condição do ar exterior

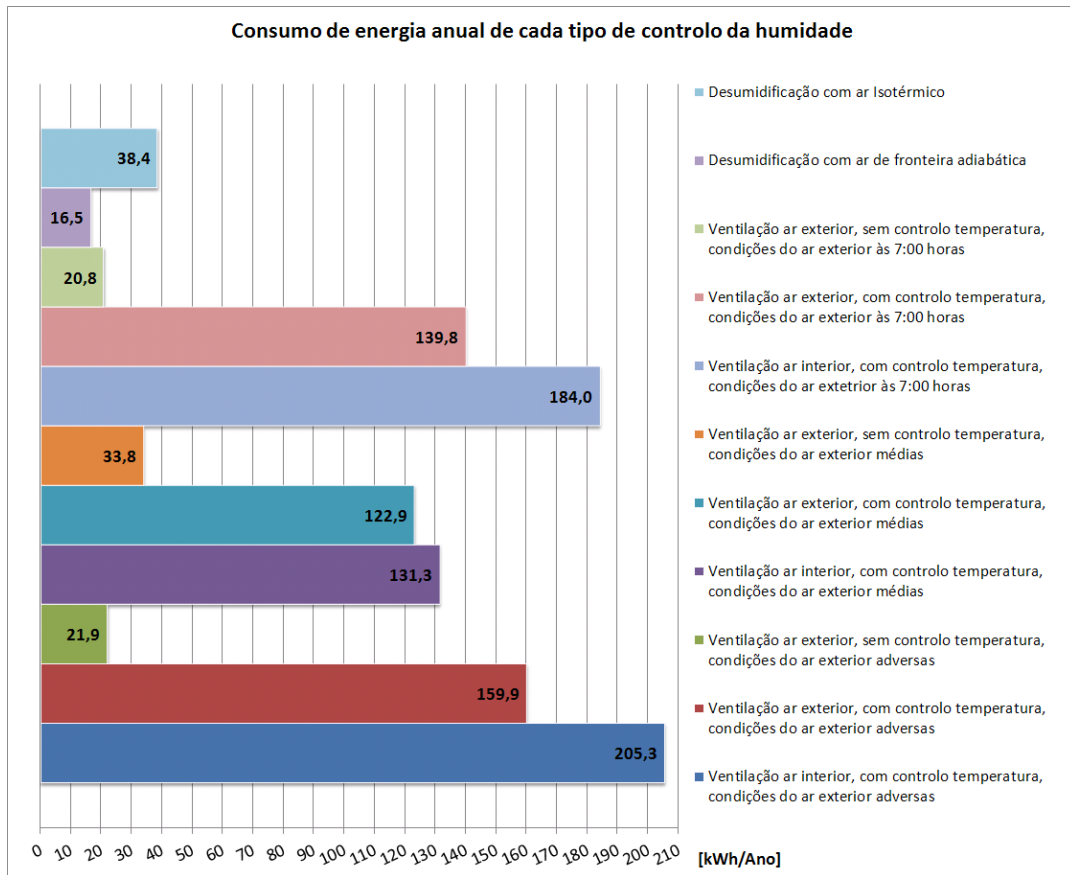


Figura 27 – Gráfico do consumo de energia anual de cada tipo controlo da humidade

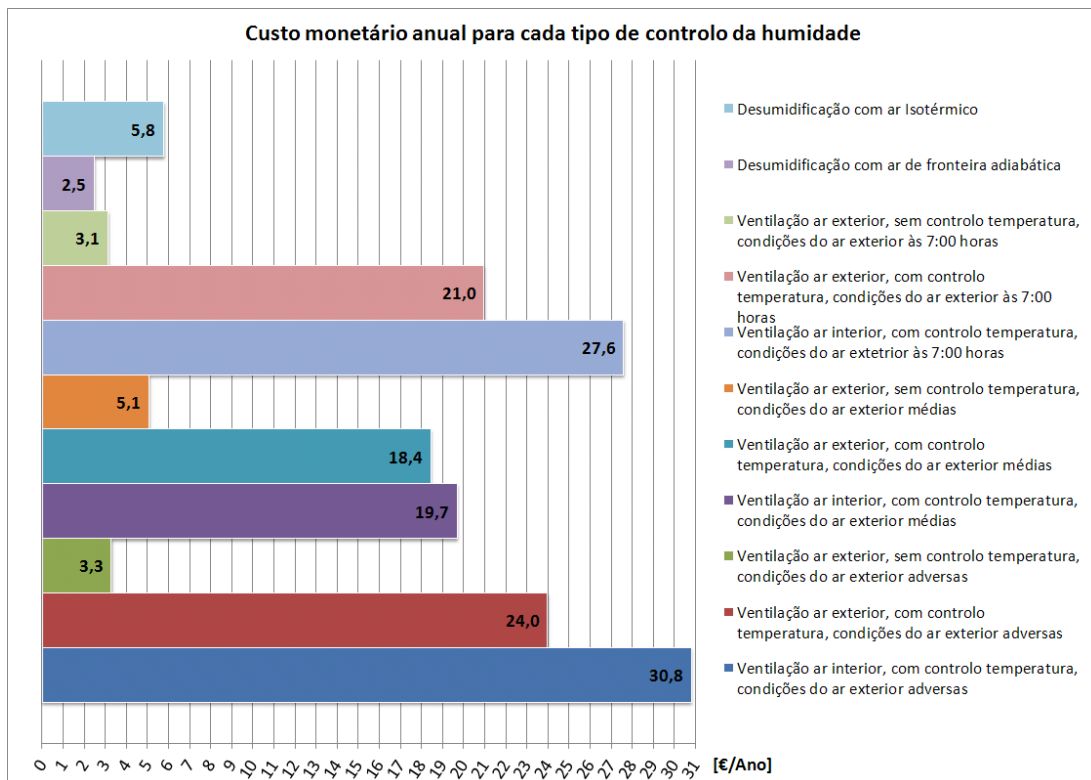


Figura 28 – Gráfico do custo monetário em euros de cada tipo de controlo da humidade



## 8 Conclusões e possibilidades de trabalho futuro

Para efetuar o controlo da humidade de um espaço de banho é necessário ter em conta diversos fatores, dos quais os principais são: o volume do espaço, a temperatura da água à saída do chuveiro, o estado psicrométrico do ar interior no início do banho, e o tempo do banho.

Na generalidade o controlo da humidade num banho pode ser efetuado por três formas diferentes, que são a ventilação com ar interior proveniente de um espaço adjacente, a ventilação com ar exterior sendo este aquecido ou não, e por último a utilização de um desumidificador.

Para ter uma estimativa da produção de vapor durante um banho teve-se que considerar certas condições de referência e simplificações devido à vasta variabilidade de fatores que intervêm na libertação do vapor.

Na ventilação, quer seja com ar interior ou exterior, as taxas de renovação de ar são elevadas, porque considerou-se que o ventilador tem a capacidade de caudal necessária para remover o vapor adicionado no tempo do banho estipulado. No caso talvez mais realista de um ventilador comum, ou seja um ventilador que é usado normalmente nas casas de banho, teria de funcionar mais tempo do que o tempo de banho para poder retirar todo o vapor libertado.

Quando existe aquecimento do ar exterior, o consumo de energia é bastante mais elevado (cerca de 93%) do que sem aquecimento. Esta informação é útil na medida em que se houver a possibilidade de desligar o aquecimento nos dias em que até se pode tolerar as temperaturas exteriores, pode-se poupar este consumo energético.

Na comparação dos resultados do consumo energético anual no controlo da humidade, a utilização de um desumidificador é a que consome menos energia. O cálculo do consumo energético neste caso foi feito com ar de fronteira adiabática e com ar isotérmico; na realidade o processo deve situar-se entre estas duas considerações. A capacidade de extração de vapor do desumidificador pode variar devido a sua potência térmica, e consequentemente o tempo de funcionamento do mesmo pode variar tendo também em conta a regulação do higróstato do mesmo.

Na utilização de um desumidificador pode-se ter uma outra vantagem que é se o desumidificador possuir um depósito de armazenamento de condensados, esta pode ser reaproveitada para outros fins.

Todos os valores que foram obtidos do consumo de energia para cada estratégia adotada, são resultado de uma análise estática por mês. Se for efetuada uma análise dinâmica por dia eventualmente alguns dos valores do consumo energético poderão ser diferentes e mais precisos. Embora não pareça crível que se alterem as conclusões globais deste trabalho.

## 9 Referências e Bibliografia

- [1] Yunus A. Çengel; Michael A.Boles, THERMODYNAMICS – *An Engineering Approach, Fifth Edition*.
- [2] Anton TenWolde (Member ASHRAE); Crystal L. Pilon – *The Effect of Indoor Humidity on Water Vapor Release in Homes*, 2007.
- [3] Ricardo Correia – *Caracterização do uso específico da energia para ventilação com ênfase nos requisitos de filtragem*, Dissertação MIEM, Faculdade de Engenharia do Porto, 2011.
- [4] SANDOMETAL, Metalomecânica e Ar Condicionado, S.A. – *Unidades de Ventilação*, Catálogo técnico, 2008.
- [5] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - *Tarifas de venda a clientes finais dos comercializadores de último recurso em BTN em Portugal Continental*, 2012.
- [6] SOURCE BOOK – *Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme*, International Energy Agency, 1991.
- [7] Monika Woloszyn; Targo Kalamees; Marc Olivier Abadie; Marijke Steeman; Angela Sasic Kalagasidis – *The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture-buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings*, 2008.
- [8] Samuel V. Glass and Anton TenWolde – *Review of Moisture Balance Models for Residential Indoor Humidity*. U.S. Forest Products Laboratory, Madison Wisconsin USA, 2009.
- [9] Instituto Superior Engenharia do Porto – *Tabelas Termodinâmicas*, 2008.
- [10] ASHRAE Handbook – *Psychrometrics Chapter 6*, 2005.

## ANEXO A: Tabela da evolução do ar interior devido ao incremento da massa de vapor de água.

m <sub>ar</sub> [kg]	Incremento de vapor [g]	H vapor [kJ]	Propriedades termodinâmicas do ar					m <sub>v</sub> [kg]	Vapor adicionado [g]
			H [kJ]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	T [°C]	HR [%]		
9,72	0	0,000	375,192	38,6	7,3	20	50,0	0,071	0
9,72	1	2,582	377,774	38,9	7,4	20	51,0	0,072	1
9,72	1	2,582	380,357	39,1	7,5	20	51,7	0,073	2
9,72	1	2,582	382,939	39,4	7,6	20	52,4	0,074	3
9,72	1	2,582	385,522	39,7	7,7	20	53,1	0,075	4
9,72	1	2,582	388,104	39,9	7,8	20	53,8	0,076	5
9,72	1	2,582	390,686	40,2	7,9	20	54,5	0,077	6
9,72	1	2,582	393,269	40,5	8,0	20	55,2	0,078	7
9,72	1	2,582	395,851	40,7	8,1	20	55,9	0,079	8
9,72	1	2,582	398,434	41,0	8,2	20	56,6	0,080	9
9,72	1	2,582	401,016	41,3	8,3	20	57,3	0,081	10
9,72	1	2,582	403,598	41,5	8,4	20	58,0	0,082	11
9,72	1	2,582	406,181	41,8	8,5	20	58,7	0,083	12
9,72	1	2,582	408,763	42,1	8,6	20	59,4	0,084	13
9,72	1	2,582	411,346	42,3	8,7	20	60,1	0,085	14
9,72	1	2,582	413,928	42,6	8,8	20	60,8	0,086	15
9,72	1	2,582	416,510	42,9	8,9	20	61,5	0,087	16
9,72	1	2,582	419,093	43,1	9,0	20	62,2	0,088	17
9,72	1	2,582	421,675	43,4	9,2	20	62,9	0,089	18
9,72	1	2,582	424,258	43,6	9,3	20	63,6	0,090	19
9,72	1	2,582	426,840	43,9	9,4	20	64,3	0,091	20
9,72	1	2,582	429,422	44,2	9,5	20	65,0	0,092	21
9,72	1	2,582	432,005	44,4	9,6	20	65,7	0,093	22
9,72	1	2,582	434,587	44,7	9,7	20	66,3	0,094	23
9,72	1	2,582	437,170	45,0	9,8	20	67,0	0,095	24
9,72	1	2,582	439,752	45,2	9,9	20	67,7	0,096	25
9,72	1	2,582	442,334	45,5	10,0	20	68,4	0,097	26
9,72	1	2,582	444,917	45,8	10,1	20	69,1	0,098	27
9,72	1	2,582	447,499	46,0	10,2	20	69,8	0,099	28
9,72	1	2,582	450,082	46,3	10,3	20	70,5	0,100	29
9,72	1	2,582	452,664	46,6	10,4	20	71,2	0,101	30
9,72	1	2,582	455,246	46,8	10,5	20	71,9	0,102	31
9,72	1	2,582	457,829	47,1	10,6	20	72,6	0,103	32
9,72	1	2,582	460,411	47,4	10,7	20	73,3	0,104	33
9,72	1	2,582	462,994	47,6	10,8	20	74,0	0,105	34
9,72	1	2,582	465,576	47,9	10,9	20	74,7	0,106	35
9,72	1	2,582	468,158	48,2	11,0	20	75,4	0,107	36
9,72	1	2,582	470,741	48,4	11,1	20	76,1	0,108	37
9,72	1	2,582	473,323	48,7	11,2	20	76,8	0,109	38
9,72	1	2,582	475,906	49,0	11,3	20	77,4	0,110	39
9,72	1	2,582	478,488	49,2	11,4	20	78,1	0,111	40
9,72	1	2,582	481,070	49,5	11,5	20	78,8	0,112	41
9,72	1	2,582	483,653	49,8	11,6	20	79,5	0,113	42
9,72	1	2,582	486,235	50,0	11,7	20	80,2	0,114	43

(continuação)

m <sub>ar</sub> [kg]	Incremento de vapor [g]	H vapor [kJ]	Propriedades termodinâmicas do ar					m <sub>v</sub> [kg]	Vapor adicionado [g]
			H [kJ]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	T [°C]	HR [%]		
9,72	1	2,582	488,818	50,3	11,8	20	80,9	0,115	44
9,72	1	2,582	491,400	50,6	11,9	20	81,6	0,116	45
9,72	1	2,582	493,982	50,8	12,0	20	82,3	0,117	46
9,72	1	2,582	496,565	51,1	12,1	20	83,0	0,118	47
9,72	1	2,582	499,147	51,4	12,2	20	83,7	0,119	48
9,72	1	2,582	501,730	51,6	12,3	20	84,4	0,120	49
9,72	1	2,582	504,312	51,9	12,4	20	85,0	0,121	50
9,72	1	2,582	506,894	52,1	12,5	20	85,7	0,122	51
9,72	1	2,582	509,477	52,4	12,6	20	86,4	0,123	52
9,72	1	2,582	512,059	52,7	12,8	20	87,1	0,124	53
9,72	1	2,582	514,642	52,9	12,9	20	87,8	0,125	54
9,72	1	2,582	517,224	53,2	13,0	20	88,5	0,126	55
9,72	1	2,582	519,806	53,5	13,1	20	89,2	0,127	56
9,72	1	2,582	522,389	53,7	13,2	20	89,9	0,128	57
9,72	1	2,582	524,971	54,0	13,3	20	90,5	0,129	58
9,72	1	2,582	527,554	54,3	13,4	20	91,2	0,130	59
9,72	1	2,582	530,136	54,5	13,5	20	91,9	0,131	60
9,72	1	2,582	532,718	54,8	13,6	20	92,6	0,132	61
9,72	1	2,582	535,301	55,1	13,7	20	93,3	0,133	62
9,72	1	2,582	537,883	55,3	13,8	20	94,0	0,134	63
9,72	1	2,582	540,466	55,6	13,9	20	94,7	0,135	64
9,72	1	2,582	543,048	55,9	14,0	20	95,4	0,136	65
9,72	1	2,582	545,630	56,1	14,1	20	96,0	0,137	66
9,72	1	2,582	548,213	56,4	14,2	20	96,7	0,138	67
9,72	1	2,582	550,795	56,7	14,3	20	97,4	0,139	68
9,72	1	2,582	553,378	56,9	14,4	20	98,1	0,140	69
9,72	1	2,582	555,960	57,2	14,5	20	98,8	0,141	70
9,72	1	2,582	558,542	57,5	14,6	20	99,5	0,142	71
9,72	1	2,582	561,125	57,7	14,7	20	100,2	0,143	72

### ANEXO B: Folha de cálculo do controlo da humidade por desumidificação com ar de fronteira adiabático

Caudal de vapor [kg/s]	Massa vapor "produzido" [kg]	Desumidificador								Ar						Estado final					
		ON/Off	Tempo de operação [s]	Calor sensível libertado [kJ]	Vapor removido [kg]	h após calor sensível [kJ/kg]	w [g/kg]	T após calor sensível [°C]	RH [%]	Tempo de absorção [s]	Vapor absorvido [kg]	h após absorção do vapor [kJ/kg]	w [g/kg]	T após absorção [°C]	RH [%]	Tempo Total [s]	T [°C]	RH [%]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	Vapor "retirado" [kg]
0,0000	0,0000	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0	0,0000	0,00	0,000	0,0	0,0	0	20,0	50,0	38,60	7,300	0,000
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	41,06	8,253	20,0	56,5	10	20,0	56,5	41,06	8,253	0,009
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	43,52	9,205	20,0	62,7	20	20,0	62,7	43,52	9,205	0,019
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	45,98	10,158	20,1	68,9	30	20,1	68,9	45,98	10,158	0,028
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	48,44	11,110	20,1	75,1	40	20,1	75,1	48,44	11,110	0,037
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	50,90	12,063	20,2	81,2	50	20,2	81,2	50,90	12,063	0,046
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	53,685	12,063	22,9	68,8	10	0,0008	53,89	12,143	22,9	69,2	60	22,9	69,2	53,89	12,143	0,056
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	56,677	12,143	25,6	58,8	10	0,0008	56,88	12,223	25,6	59,2	70	25,6	59,2	56,88	12,223	0,065
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	59,669	12,223	28,3	50,5	10	0,0008	59,88	12,303	28,3	50,8	80	28,3	50,8	59,88	12,303	0,074
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	62,661	12,303	31,0	43,5	10	0,0008	62,87	12,383	31,0	43,7	90	31,0	43,7	62,87	12,383	0,083
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	65,33	13,336	31,0	47,0	100	31,0	47,0	65,33	13,336	0,093
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	67,79	14,288	31,1	50,2	110	31,1	50,2	67,79	14,288	0,102
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	70,25	15,241	31,1	53,4	120	31,1	53,4	70,25	15,241	0,111
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	72,71	16,193	31,1	56,6	130	31,1	56,6	72,71	16,193	0,120
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	75,17	17,146	31,2	59,7	140	31,2	59,7	75,17	17,146	0,130
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	77,63	18,099	31,2	62,9	150	31,2	62,9	77,63	18,099	0,139
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	80,09	19,051	31,2	66,0	160	31,2	66,0	80,09	19,051	0,148
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	82,55	20,004	31,2	69,1	170	31,2	69,1	82,55	20,004	0,157
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	85,01	20,956	31,2	72,1	180	31,2	72,1	85,01	20,956	0,167
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	87,47	21,909	31,2	75,2	190	31,2	75,2	87,47	21,909	0,176
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	89,93	22,862	31,3	78,3	200	31,3	78,3	89,93	22,862	0,185
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	92,39	23,814	31,3	81,3	210	31,3	81,3	92,39	23,814	0,194
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	95,173	23,814	34,0	70,0	10	0,0008	95,38	23,894	34,0	70,3	220	34,0	70,3	95,38	23,894	0,204
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	98,165	23,894	36,6	60,7	10	0,0008	98,37	23,974	36,6	60,9	230	36,6	60,9	98,37	23,974	0,213
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	101,157	23,974	39,2	52,7	10	0,0008	101,36	24,054	39,2	52,9	240	39,2	52,9	101,36	24,054	0,222
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	104,149	24,054	41,9	46,0	10	0,0008	104,36	24,134	41,9	46,1	250	41,9	46,1	104,36	24,134	0,231
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	106,82	25,087	41,9	47,8	260	41,9	47,8	106,82	25,087	0,241
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	109,28	26,040	41,9	49,6	270	41,9	49,6	109,28	26,040	0,250
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	111,74	26,992	41,9	51,3	280	41,9	51,3	111,74	26,992	0,259
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	114,20	27,945	41,9	53,0	290	41,9	53,0	114,20	27,945	0,269
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	116,66	28,897	41,9	54,7	300	41,9	54,7	116,66	28,897	0,278
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	119,12	29,850	41,9	56,4	310	41,9	56,4	119,12	29,850	0,287
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	121,58	30,803	41,9	58,1	320	41,9	58,1	121,58	30,803	0,296
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	124,04	31,755	41,9	59,8	330	41,9	59,8	124,04	31,755	0,306
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	126,50	32,708	41,9	61,5	340	41,9	61,5	126,50	32,708	0,315



Controlo da humidade em espaços de banho: comparação da eficiência energética de diferentes estratégias

(continuação)

Caudal de vapor [kg/s]	Massa vapor "produzido" [kg]	Desumidificador								Ar						Estado final					
		ON/Off	Tempo de operação [s]	Calor sensível libertado [kJ]	Vapor removido [kg]	h após calor sensível [kJ/kg]	w [g/kg]	T após calor sensível [°C]	RH [%]	Tempo de absorção [s]	Vapor absorvido [kg]	h após absorção do vapor [kJ/kg]	w [g/kg]	T após absorção [°C]	RH [%]	Tempo Total [s]	T [°C]	RH [%]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	Vapor "retirado" [kg]
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	128,96	33,660	41,9	63,2	350	41,9	63,2	128,96	33,660	0,324
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	131,42	34,613	41,9	64,8	360	41,9	64,8	131,42	34,613	0,333
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	133,88	35,566	42,0	66,5	370	42,0	66,5	133,88	35,566	0,343
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	136,34	36,518	42,0	68,2	380	42,0	68,2	136,34	36,518	0,352
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	138,80	37,471	42,0	69,8	390	42,0	69,8	138,80	37,471	0,361
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	141,26	38,423	42,0	71,5	400	42,0	71,5	141,26	38,423	0,370
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	143,72	39,376	42,0	73,1	410	42,0	73,1	143,72	39,376	0,380
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	146,18	40,329	42,0	74,8	420	42,0	74,8	146,18	40,329	0,389
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	148,64	41,281	42,0	76,4	430	42,0	76,4	148,64	41,281	0,398
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	151,10	42,234	42,0	78,0	440	42,0	78,0	151,10	42,234	0,407
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	153,56	43,186	42,0	79,6	450	42,0	79,6	153,56	43,186	0,417
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	156,02	44,139	42,0	81,2	460	42,0	81,2	156,02	44,139	0,426
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	158,801	44,139	44,6	71,1	10	0,0008	159,01	44,219	44,6	71,3	470	44,6	71,3	159,01	44,219	0,435
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	161,793	44,219	47,1	62,5	10	0,0008	162,00	44,299	47,1	62,6	480	47,1	62,6	162,00	44,299	0,444
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	164,785	44,299	49,7	55,1	10	0,0008	164,99	44,379	49,7	55,2	490	49,7	55,2	164,99	44,379	0,454
0,00093	0,0093	On	10	27,073	0,008	167,777	44,379	52,2	48,7	10	0,0008	167,98	44,459	52,2	48,8	500	52,2	48,8	167,98	44,459	0,463
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,009	170,443	45,412	52,2	49,8	510	52,2	49,8	170,44	45,412	0,472
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,009	172,903	46,364	52,2	50,7	520	52,2	50,7	172,90	46,364	0,481
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,009	175,364	47,317	52,2	51,7	530	52,2	51,7	175,36	47,317	0,491
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,009	177,824	48,269	52,2	52,7	540	52,2	52,7	177,82	48,269	0,500



### ANEXO C: Folha de cálculo do controlo da humidade por desumidificação com ar isotérmico

Caudal de vapor [kg/s]	Massa vapor "produzido" [kg]	Desumidificador								Ar						Estado final					
		ON/Off	Tempo de operação [s]	Calor sensível libertado [kJ]	Vapor removido [kg]	h após calor sensível [kJ/kg]	w [g/kg]	T após calor sensível [°C]	RH [%]	Tempo de absorção [s]	Vapor absorvido [kg]	h após absorção do vapor [kJ/kg]	w [g/kg]	T após absorção [°C]	RH [%]	Tempo Total [s]	T [°C]	RH [%]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	Vapor "retirado" [kg]
0,00000	0,0000	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	0	0,0000	0,000	0,000	0,0	0,0	0	20,0	50,0	38,600	7,300	0,000
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	41,060	8,253	20,0	56,5	10	20,0	56,5	41,060	8,253	0,009
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	43,520	9,205	20,0	62,7	20	20,0	62,7	43,520	9,205	0,019
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	45,980	10,158	20,1	68,9	30	20,1	68,9	45,980	10,158	0,028
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	48,440	11,110	20,1	75,1	40	20,1	75,1	48,440	11,110	0,037
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	50,900	12,063	20,2	81,2	50	20,2	81,2	50,900	12,063	0,046
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	48,647	11,190	20,1	75,6	10	0,0008	48,853	11,270	20,1	76,1	60	20,1	76,1	48,853	11,270	0,056
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	46,600	10,398	20,1	70,5	10	0,0008	46,807	10,478	20,1	70,9	70	20,1	70,9	46,807	10,478	0,065
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	44,553	9,605	20,1	65,3	10	0,0008	44,760	9,685	20,1	65,8	80	20,1	65,8	44,760	9,685	0,074
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	42,506	8,813	20,0	60,2	10	0,0008	42,713	8,893	20,0	60,7	90	20,0	60,7	42,713	8,893	0,083
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	40,460	8,020	20,0	54,9	10	0,0008	40,666	8,100	20,0	55,4	100	20,0	55,4	40,666	8,100	0,093
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	38,413	7,228	20,0	49,7	10	0,0008	38,620	7,308	20,0	50,2	110	20,0	50,2	38,620	7,308	0,102
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	36,366	6,435	20,0	44,4	10	0,0008	36,573	6,515	20,0	45,0	120	20,0	45,0	36,573	6,515	0,111
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	39,033	7,468	20,0	51,3	130	20,0	51,3	39,033	7,468	0,120
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	41,493	8,420	20,0	57,6	140	20,0	57,6	41,493	8,420	0,130
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	43,953	9,373	20,1	63,8	150	20,1	63,8	43,953	9,373	0,139
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	46,413	10,325	20,1	70,0	160	20,1	70,0	46,413	10,325	0,148
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	48,873	11,278	20,1	76,2	170	20,1	76,2	48,873	11,278	0,157
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	51,333	12,231	20,2	82,3	180	20,2	82,3	51,333	12,231	0,167
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	49,080	11,358	20,1	76,7	10	0,0008	49,286	11,438	20,1	77,2	190	20,1	77,2	49,286	11,438	0,176
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	47,033	10,566	20,1	71,6	10	0,0008	47,240	10,646	20,1	72,1	200	20,1	72,1	47,240	10,646	0,185
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	44,986	9,773	20,1	66,4	10	0,0008	45,193	9,853	20,1	67,0	210	20,1	67,0	45,193	9,853	0,194
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	42,939	8,980	20,0	61,2	10	0,0008	43,146	9,060	20,0	61,8	220	20,0	61,8	43,146	9,060	0,204
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	40,893	8,188	20,0	56,0	10	0,0008	41,099	8,268	20,0	56,6	230	20,0	56,6	41,099	8,268	0,213
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	38,846	7,395	20,0	50,8	10	0,0008	39,053	7,475	20,0	51,3	240	20,0	51,3	39,053	7,475	0,222
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	36,799	6,603	20,0	45,5	10	0,0008	37,006	6,683	20,0	46,0	250	20,0	46,0	37,006	6,683	0,231
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	39,466	7,635	20,0	52,4	260	20,0	52,4	39,466	7,635	0,241
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	41,926	8,588	20,0	58,7	270	20,0	58,7	41,926	8,588	0,250
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	44,386	9,541	20,1	64,9	280	20,1	64,9	44,386	9,541	0,259
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	46,846	10,493	20,1	71,1	290	20,1	71,1	46,846	10,493	0,269
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	49,306	11,446	20,1	77,2	300	20,1	77,2	49,306	11,446	0,278
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	51,766	12,398	20,2	83,3	310	20,2	83,3	51,766	12,398	0,287
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	49,513	11,526	20,2	77,7	10	0,0008	49,719	11,606	20,2	78,2	320	20,2	78,2	49,719	11,606	0,296
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	47,466	10,733	20,1	72,6	10	0,0008	47,673	10,813	20,1	73,2	330	20,1	73,2	47,673	10,813	0,306
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	45,419	9,941	20,1	67,5	10	0,0008	45,626	10,021	20,1	68,0	340	20,1	68,0	45,626	10,021	0,315



Controlo da humidade em espaços de banho: comparação da eficiência energética de diferentes estratégias

(continuação)

Caudal de vapor [kg/s]	Massa vapor "produzido" [kg]	Desumidificador								Ar						Estado final					
		ON/Off	Tempo de operação [s]	Calor sensível libertado [kJ]	Vapor removido [kg]	h após calor sensível [kJ/kg]	w [g/kg]	T após calor sensível [°C]	RH [%]	Tempo de absorção [s]	Vapor absorvido [kg]	h após absorção do vapor [kJ/kg]	w [g/kg]	T após absorção [°C]	RH [%]	Tempo Total [s]	T [°C]	RH [%]	h [kJ/kg]	w [g/kg]	Vapor "retirado" [kg]
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	43,372	9,148	20,0	62,3	10	0,0008	43,579	9,228	20,0	62,9	350	20,0	62,9	43,579	9,228	0,324
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	41,326	8,355	20,0	57,1	10	0,0008	41,532	8,435	20,0	57,7	360	20,0	57,7	41,532	8,435	0,333
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	39,279	7,563	20,0	51,9	10	0,0008	39,486	7,643	20,0	52,4	370	20,0	52,4	39,486	7,643	0,343
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	37,232	6,770	20,0	46,6	10	0,0008	37,439	6,850	20,0	47,2	380	20,0	47,2	37,439	6,850	0,352
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	39,899	7,803	20,0	53,5	390	20,0	53,5	39,899	7,803	0,361
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	42,359	8,756	20,0	59,8	400	20,0	59,8	42,359	8,756	0,370
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	44,819	9,708	20,1	66,0	410	20,1	66,0	44,819	9,708	0,380
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	47,279	10,661	20,1	72,2	420	20,1	72,2	47,279	10,661	0,389
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	49,739	11,613	20,2	78,3	430	20,2	78,3	49,739	11,613	0,398
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	52,199	12,566	20,2	84,4	440	20,2	84,4	52,199	12,566	0,407
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	49,946	11,693	20,2	78,8	10	0,0008	50,152	11,773	20,2	79,3	450	20,2	79,3	50,152	11,773	0,417
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	47,899	10,901	20,1	73,7	10	0,0008	48,105	10,981	20,1	74,2	460	20,1	74,2	48,105	10,981	0,426
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	45,852	10,108	20,1	68,6	10	0,0008	46,059	10,188	20,1	69,1	470	20,1	69,1	46,059	10,188	0,435
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	43,805	9,316	20,1	63,4	10	0,0008	44,012	9,396	20,1	64,0	480	20,1	64,0	44,012	9,396	0,444
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	41,759	8,523	20,0	58,2	10	0,0008	41,965	8,603	20,0	58,8	490	20,0	58,8	41,965	8,603	0,454
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	39,712	7,731	20,0	53,0	10	0,0008	39,919	7,811	20,0	53,6	500	20,0	53,6	39,919	7,811	0,463
0,00093	0,0093	On	10	0,000	0,008	37,665	6,938	20,0	47,8	10	0,0008	37,872	7,018	20,0	48,3	510	20,0	48,3	37,872	7,018	0,472
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	40,332	7,971	20,0	54,6	520	20,0	54,6	40,332	7,971	0,481
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	42,792	8,923	20,0	60,9	530	20,0	60,9	42,792	8,923	0,491
0,00093	0,0093	Off	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0	0,0	10	0,0093	45,252	9,876	20,1	67,1	540	20,1	67,1	45,252	9,876	0,500



Controlo da humidade em espaços de banho: comparação da eficiência energética de diferentes estratégias

