

## ARREFECIMENTO EXSICANTE-EVAPORATIVO ASSISTIDO POR ENERGIA SOLAR RESULTADOS OBTIDOS COM A UTA INSTALADA NO DER/INETI

**João Macau** – joao.macau@ineti.pt  
DER-INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22  
1649-038 Lisboa, Portugal.

**Pedro Ferreira** – pmiguel.ferreira@ineti.pt  
DER-INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22  
1649-038 Lisboa, Portugal.

**Rui Rodrigues** - rui.rodrigues@ineti.pt  
DER-INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22  
1649-038 Lisboa, Portugal.

**João Farinha Mendes** – farinha.mendes@ineti.pt  
DER-INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22  
1649-038 Lisboa, Portugal

**Resumo:** *O Departamento de Energias Renováveis do INETI tem em funcionamento, desde 1999 uma UTA - Unidade de Tratamento de Ar que foi instalada no âmbito de um projecto Europeu (CODEC Project) para demonstração da tecnologia exsicante- evaporativa assistida por energia solar. Recentemente foram introduzidas alterações na configuração da UTA, como seja a introdução de um humidificador na secção de admissão de ar com a subsequente modificação do esquema de controlo, desde o Verão de 2008, para, sem sacrificar as condições de conforto, limitar o tempo de funcionamento da bomba de calor que dá apoio ao sistema quando em modo de arrefecimento. Para além da descrição dos componentes principais, modos de operação e alterações introduzidas, neste trabalho são apresentados e analisados os resultados obtidos nesta nova fase de funcionamento da UTA, depois da introdução daquelas modificações, para concluir acerca do interesse da solução adoptada.*

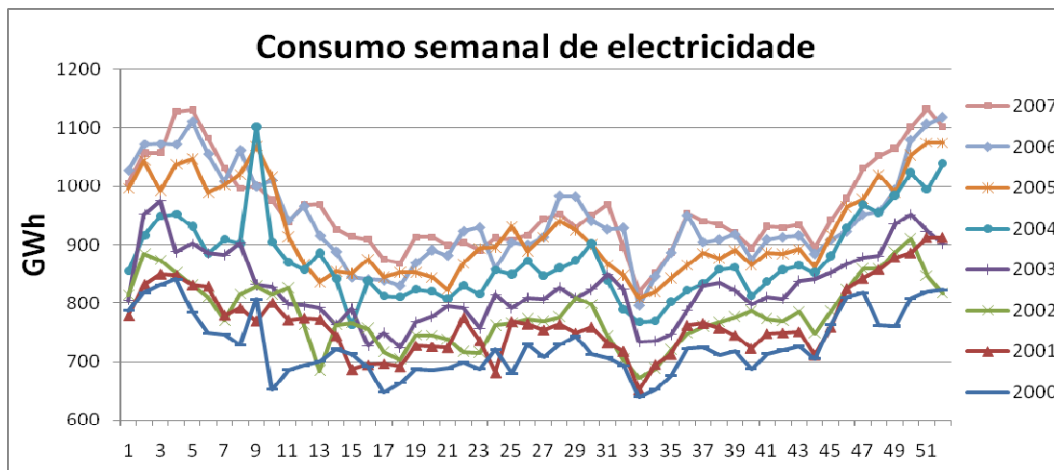
**Palavras-Chave:** *Unidade de tratamento de ar, processo exsicante- evaporativo, energia solar, fracção solar.*

### 1. INTRODUÇÃO

No Centro e Norte da Europa são as necessidades de aquecimento no Inverno que predominam nos consumos de energia em edifícios, tendo os últimos anos mostrado que na Europa do Sul existe igualmente um aumento no consumo de energia para aquecimento ambiente. No entanto e para além disso, o Verão mais quente da Europa do Sul traduz-se em necessidades de arrefecimento que adquirem igual se não maior

importância que as de aquecimento. Em consequência tem havido um grande incremento na venda de sistemas convencionais de ar condicionado e o consequente aumento do consumo de energia *per capita*.

Esta evolução está espelhada nos “apagões” ocorridos durante o Verão em alguns países ou cidades do Sul da Europa e pode ser explicados por graficos como o da Fig.1, que mostra a evolução do consumo de electricidade em Portugal, com uma forte tendência de aumento do pico de consumo no Verão, que se não for invertida poderá ultrapassar o do Inverno, o que obrigará a um aumento da capacidade electroprodutora. Em países como o nosso, onde a energia hidroeléctrica serve para balancear o sistema electroprodutor nacional, esta é uma situação de todo indesejável, dada a mais que crónica secura dos nossos Verões.



**Fig. 1 - Evolução do consumo de electricidade em Portugal. Fonte: REN**

Em contrapartida Verões muito quentes estão associados a muitos dias de sol brilhante, isto é, elevada disponibilidade do recurso solar, pelo que existe uma grande coincidência entre a disponibilidade de energia solar e as necessidades de frio; acresce a isto que os sistemas usados na produção de frio, podem igualmente ser utilizados na produção de águas quentes sanitárias e no aquecimento durante o Inverno através da circulação de água quente. Tanto os sistemas de aquecimento como os de arrefecimento, com energia solar, estão longe de serem economicamente viáveis quando considerados separadamente. Mas esse não é o caso quando se considera a combinação de ambos, gerando economias que são cruciais para a sua viabilidade económica, e que resulta de se usar o mesmo sistema durante todo o ano (Palz, 1994 e Collares-Pereira, 1991).

A tecnologia de frio convencional por compressão, reside em refrigerantes com impacte ambiental negativo já bem estabelecido. De facto os muito comuns CFCs são conhecidos pelo seu forte efeito na depleção da camada de ozono, que por isso já conduziu a medidas de proibição do seu uso a partir de 1996. Mesmo os seus substitutos HCFs, HFCs, HCs e outros como o NH<sub>3</sub> e CO<sub>2</sub>, não estão isentos de problemas. Nesta medida, o uso da energia solar pode igualmente contribuir para a diminuição do impacte ambiental negativo associado ao uso das tecnologias convencionais de ar condicionado.

A expressão “arrefecimento assistido por energia solar” reflecte a necessidade de uma segunda fonte de energia, gás ou outra fonte térmica. Muitas vezes é obrigatória esta combinação, mesmo quando se pretende um elevado valor de fracção solar. É o caso dos Hospitais e outros lugares onde o conforto não pode estar dependente da disponibilidade da radiação solar. Essa fonte térmica, contudo, também dá origem à produção de CO<sub>2</sub>

mas a mesma unidade de energia útil, resultante da queima de fuel numa central térmica convencional sob a forma de electricidade, acarretaria uma maior emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. A combinação com gás tem igualmente interesse porque está a ser planeada, desenvolvida e instalada no Sul da Europa a rede de gás natural, criando um consumo de Verão que ajudará a reduzir as flutuações sazonais.

Os sistemas de produção de frios capazes de fazer o aproveitamento térmico da energia solar, são conhecidos de há várias décadas. Estes sistemas são de vários tipos: compressores a vapor, arrefecimento por ejectores, ciclos abertos com exsiccantes e ciclos de absorção utilizando amónia-água ou água-LiBr. Durante os últimos anos foram igualmente financiados a nível comunitário diversos projectos de investigação e de demonstração, tendo o INETI participado nalguns deles.

Neste trabalho referiremos em particular a tecnologia do arrefecimento evaporativo com desumidificação prévia por exsiccantes e far-se-á a apresentação da Unidade de Demonstração instalada no INETI que faz uso dessa tecnologia e recorre a um sistema de captação de energia solar do tipo CPC. Em funcionamento desde 1999, este sistema já sofreu várias alterações que serão referidas, realçando-se as que tiveram lugar mais recentemente, e serão apresentados alguns resultados entretanto obtidos.

## **2. DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE DEMONSTRAÇÃO**

A unidade instalada no campus do INETI no Lumiar foi dimensionada para promover o acondicionamento ambiente dos 11 gabinetes de trabalho, situados no r/c do edifício G, onde estão localizadas parte das instalações do seu Departamento de Energias Renováveis. Trata-se no entanto de um edifício que foi construído para fim diverso do actual, que teve de sofrer algumas alterações devido ao novo tipo de ocupação e que impôs algumas limitações ao dimensionamento e desenho da UTA e respectivo sistema de distribuição de ar.

A configuração desta UTA possui assim alguns detalhes que a diferenciam de outras instaladas um pouco por todo o planeta ao longo da última década (Henning, 2004). Esse desenho foi o resultado dos constrangimentos impostos pelo edifício onde foi implantada e gabinetes a climatizar, mas também foram tomadas decisões quanto a esse desenho, tendo em vista o estudo de diferentes soluções, que a instalação no INETI favorecia, dado o carácter de instituição de investigação aplicada onde este tipo de pesquisa era possível, desejável e benvindo.

A principal inovação consistiu na introdução de uma bomba de calor como elemento de apoio ao processo de arrefecimento exsiccante-evaporativo em condições de carga mais pesadas, e remoção do humidificador da secção de entrada, que as UTAs tradicionais deste tipo incorporam. A introdução da bomba de calor impôs-se pela necessidade de injeção de ar a temperaturas mais baixas que o simples arrefecimento exsiccante-evaporativo permite, nas condições de carga referidas, e dada a necessidade de injeção de um caudal inferior ao que seria necessário sem bomba de calor, por razões que se prendem com a exiguidade de espaço para implantação das condutas de distribuição de ar.

Essas decisões iniciais de desenho foram correctamente implementadas e foram positivas em termos do conforto térmico obtido nos gabinetes climatizados desde a fase inicial de arranque da máquina. No entanto a localização do condensador da bomba de calor na secção de saída da UTA, inviabilizou desde sempre uma fracção solar aceitável, e nomeadamente nas condições de carga extremas no Verão que sempre correspondiam a uma maior disponibilidade do recurso solar.

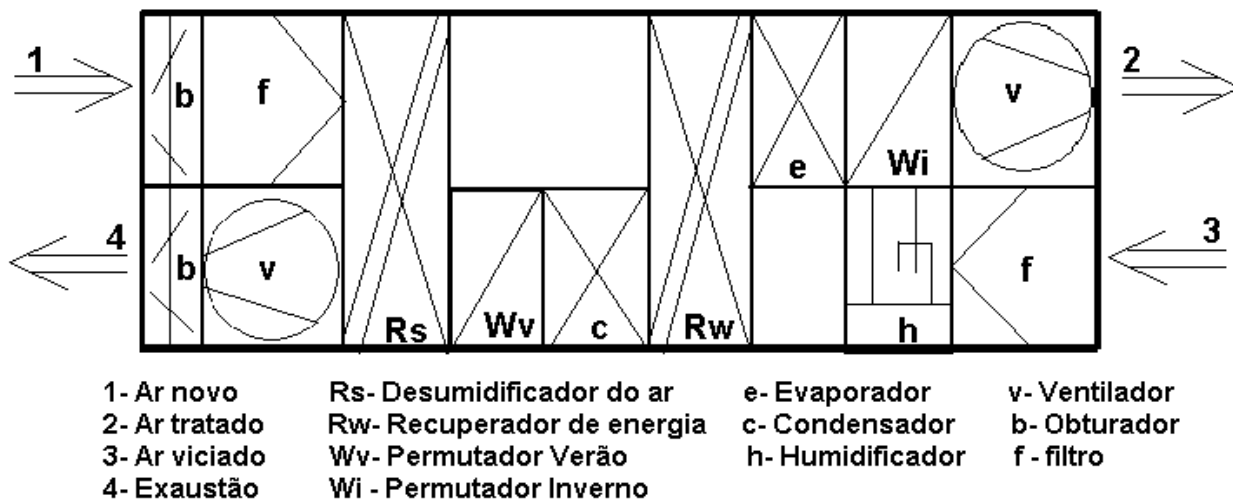


**Fig. 2 – Edifício G do DER/INETI e colectores do tipo CPC utilizados no sistema DEC**

A Fig. 3 representa esquematicamente a UTA instalada no INETI, que possui as seguintes características:

- Dimensões globais da UTA: 1290 x 1315 x 7060 mm
- Caudal de ar: 5000 m<sup>3</sup>/h (8 renovações/hora)
- Potência dos ventiladores: 2.2 KWe
- Potência da bomba de calor: 7.5 KWe
- Potência eléctrica restante (rodas e bombas): 1 KWe

A unidade foi dimensionada para uma potência de arrefecimento de 28.6 KW, correspondente ao arrefecimento do ar entre as condições exteriores e as correspondentes ao seu estado à saída da UTA, isto é, aquando da sua insuflação. Para realizar este arrefecimento, a UTA necessita de uma potência térmica de 38.2 KW, necessária à regeneração do exsicante da roda desumidificadora, que é a soma das potências térmicas do condensador da bomba de calor e do permutador de calor. Este permutador é alimentado pelo sistema solar, pelo depósito e/ou pela caldeira auxiliar de acordo com as necessidades da UTA e a disponibilidade de energia de origem solar. Os dois valores de potência referidos, permitem calcular um COP de 0.75 para a UTA/DEC.



**Fig. 3 – Elementos constituintes da UTA/DEC instalada no DER do INETI, na sua configuração inicial.**

O sistema solar é constituído por 24 colectores ligados em paralelos de 2 colectores em série e transferem a energia captada directamente à UTA ou ao depósito de acumulação com uma capacidade de 2000 l, através de um permutador externo de placas, de acordo com as necessidades da UTA e a disponibilidade de radiação (Fig.4). O circuito secundário incorpora outro permutador de placas onde a caldeira a gás fornece o apoio energético necessário ao sistema.

O conjunto UTA e sistema solar, foi instrumentado com sensores de temperatura, humidade e pressão e dispõe de aparelhos de medida da radiação, do caudal e da energia eléctrica, que fazem a monitorização permanente de todo o sistema por intermédio de um sistema de aquisição de dados que fornece ao sistema de controlo os elementos necessários, armazenando de forma selectiva os dados para tratamento posterior e permitindo a visualização em tempo real da evolução do estado do ar na UTA, do estado de funcionamento do equipamento da UTA e do sistema solar no seu todo. A Fig.4, representa os circuitos hidráulicos e componentes principais do sistema global.

Os resultados desta primeira fase de operação da UTA foram reportados no âmbito da anterior *Task 25 - Solar Assisted Air Conditioning of Buildings* do programa da AIE, *Solar Heating and Cooling* ([www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)).

Nesta Fig.4, já está representado o novo humidificador que foi introduzido na secção de admissão de ar da UTA. Este humidificador foi introduzido na sequência da constatação da baixa fracção solar no Verão em consequência do funcionamento alargado da bomba de calor.

Sem retirar as potencialidades de conforto que a mesma tem associado, verificou-se que apesar de tudo as mesmas poderiam ser mantidas num grande numero de situações, sem recorrer à bomba de calor, desde que se desse a possibilidade de humedificação também na secção de entrada da UTA. Essas situações estão fora das condições extremas de carga no Verão e de condições de humidade absoluta do ar exterior demasiado elevadas. Desta forma é possível minimizar o tempo de funcionamento da bomba de calor e aumentar o tempo de funcionamento no modo puramente exsicante-evaporativo dando hipótese a aumentar a contribuição do sistema solar. Esta modificação

da UTA, assim como da correspondente alteração do código de controle, foi introduzida em 2008 e já permitiu o seu funcionamento desta forma no Verão passado.

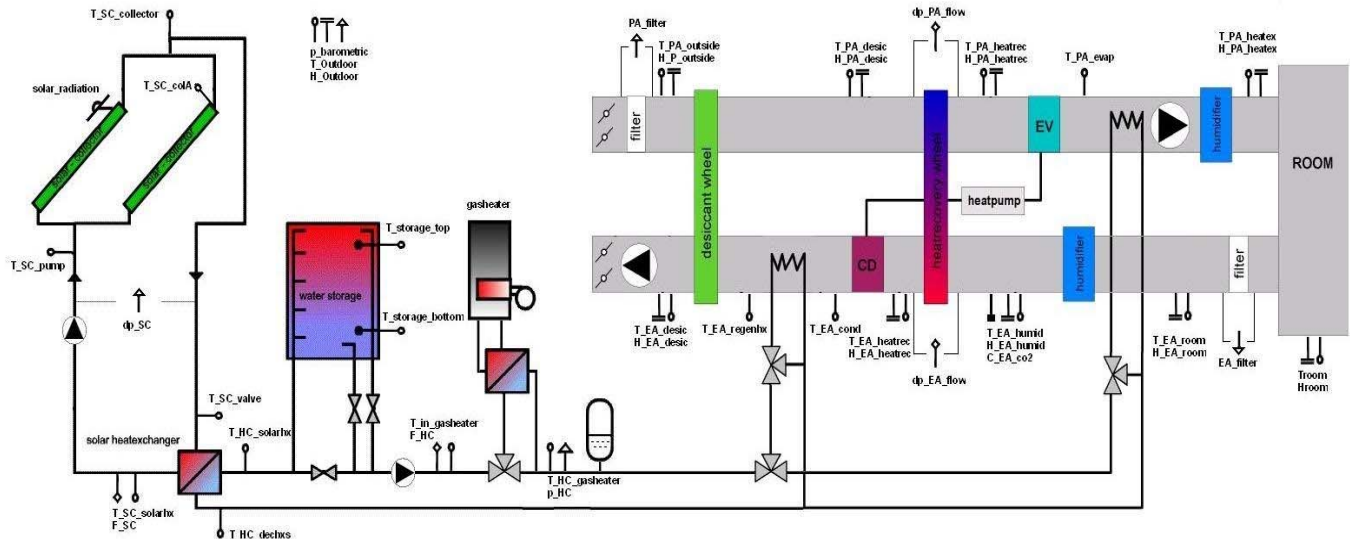


Fig. 4 – Esquema do sistema solar e da UTA/DEC.

### 3. RESULTADOS

Desde o início de funcionamento em princípios de 2000, o sistema tem tido, como já se referiu, resultados satisfatórios no que diz respeito à climatização dos gabinetes quer em termos de aquecimento, quer em termos de arrefecimento, como resultado da estratégia seguida de dar prioridade ao conforto.

Por isso e em termos qualitativos a UTA pode ser avaliada, ao longo do tempo decorrido, pela positiva em face da satisfação que pode ser detectada nos utentes, a qual se manteve após a introdução em 2008 das alterações já referidas.

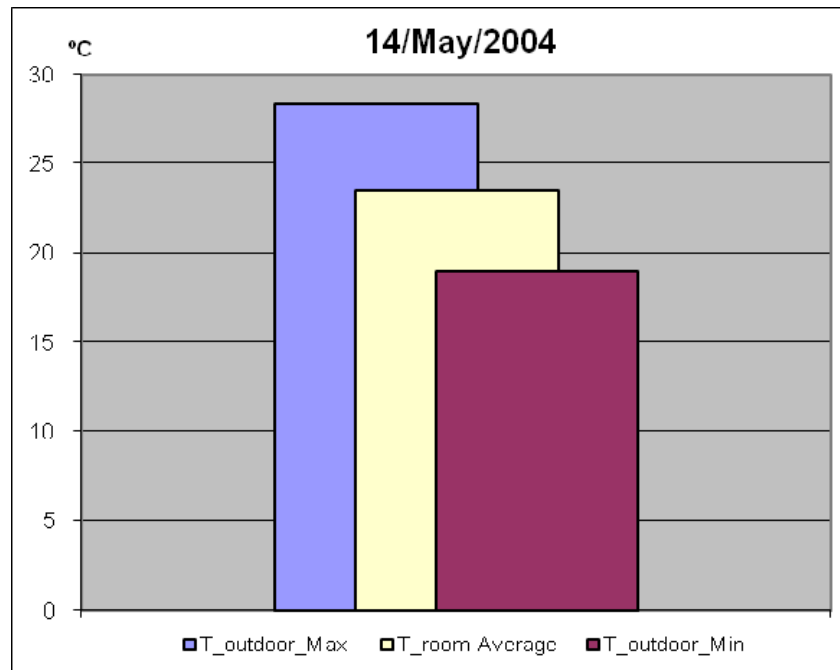
Esse comportamento positivo da UTA é apresentado e analisado a partir do conjunto de gráficos seguintes produzidas com base nos valores das grandezas psicrométricas medidas e/ou calculadas, em diferentes modos operacionais da UTA.

Em particular é analisado esse comportamento em face da introdução do novo humidificador, na parte final da secção de admissão da UTA.

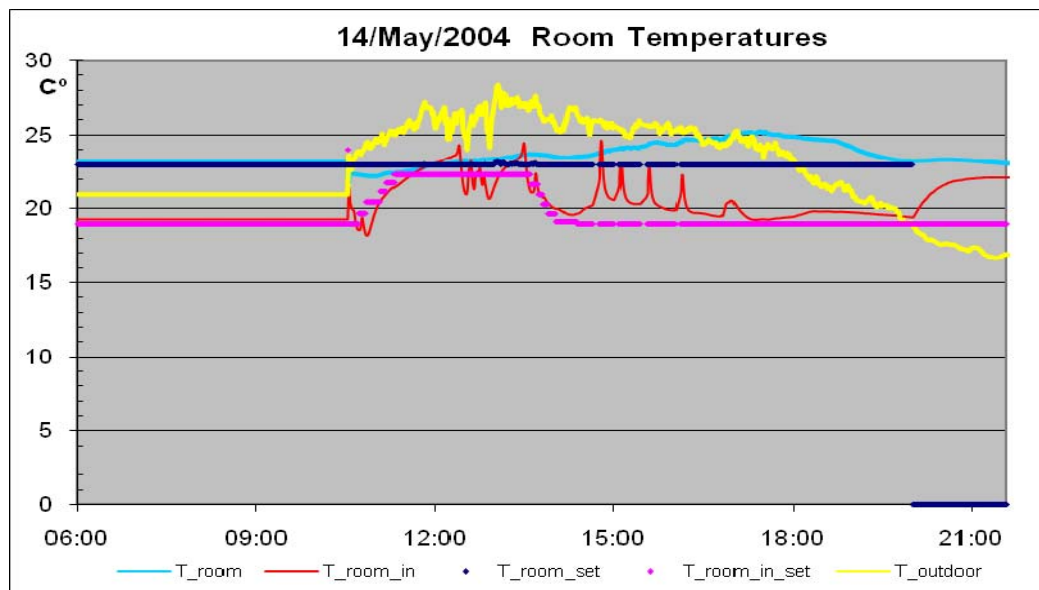
#### 3.1 Modo de arrefecimento sem humidificador na secção de admissão

Apresentam-se nos gráficos seguintes o comportamento do sistema numa situação típica de funcionamento anterior às modificações que foram reportadas, sem apoio da bomba de calor. O gráfico resumo da Fig.5 mostra num primeiro relance o comportamento aceitável em termos da temperatura média obtida nos gabinetes, mas já a Fig.6 dá uma ideia da dificuldade da UTA em proporcionar as condições de conforto em face da

dificuldade em proporcionar ar tratado para injectar nos gabinetes com a temperatura solicitada pelo sistema de controle ( $T_{room\_in\_set}$ ).



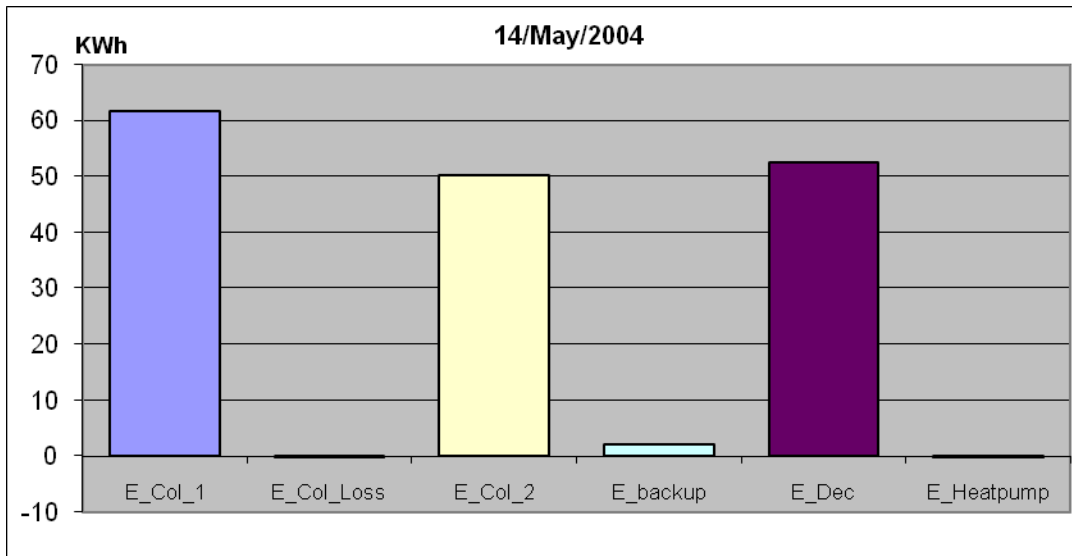
**Fig. 5 – Temperatura interior versus condições externas.**



**Fig. 6 – Temperaturas, ambiente, UTA e gabinete.**

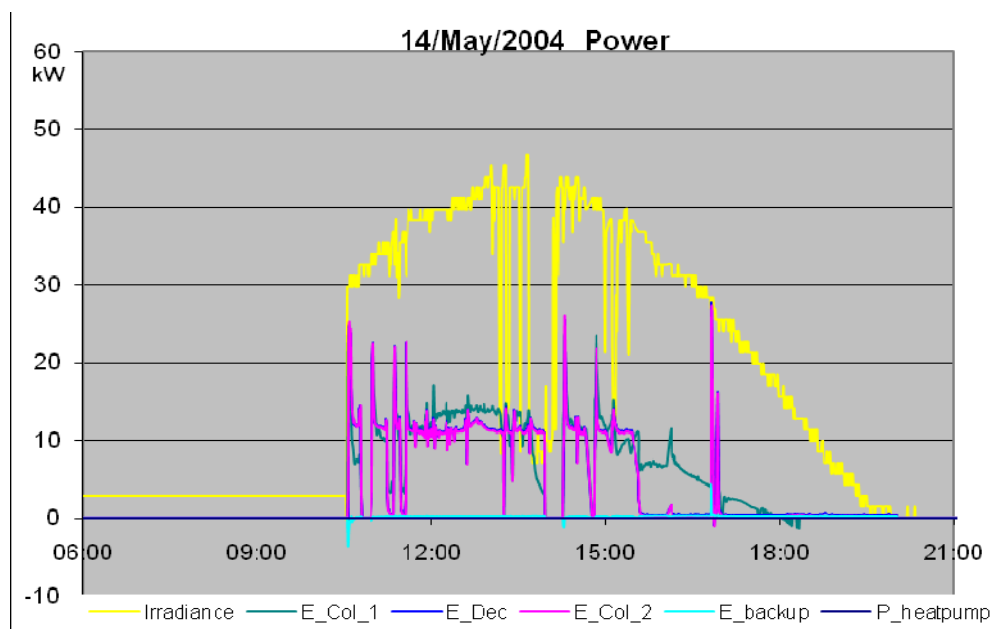
A energia em jogo (Fig.7 e 8) tanto ao nível do circuito primário como no circuito secundário apresenta valores aceitáveis e condizentes com as condições externas do dia analisado.

Na Fig.8 mostra-se a evolução da temperatura em diversos pontos representativos do circuito primário e secundário.



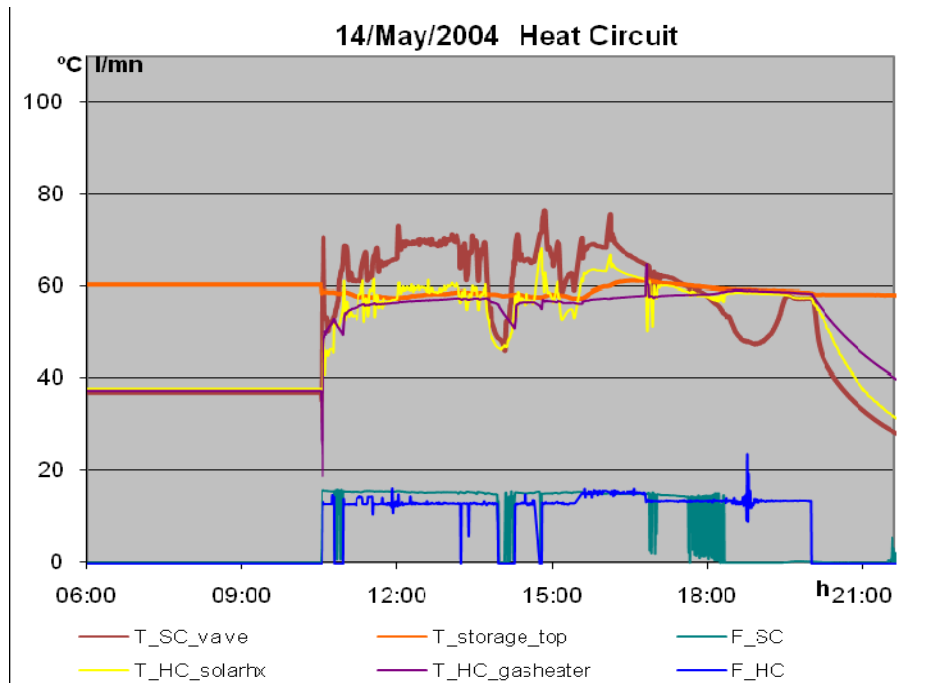
E_Col_Loss	Energia dissipada no permutador solar.
E_Col_1	Energia cedida no permutador solar ao circuito secundário.
E_Col_2	Energia fornecida pelo sistema solar (antes do apoio da caldeira, depois do depósito solar).
E_backup	Energia fornecida pela caldeira.
E_Dec	Energia libertada na UTA
E_Heatpump	Energia fornecida pela bomba de calor.

**Fig. 6 – Energia diária fornecida e consumida pelo sistema**



**Fig. 7 – Evolução diária das diversas potências em jogo**

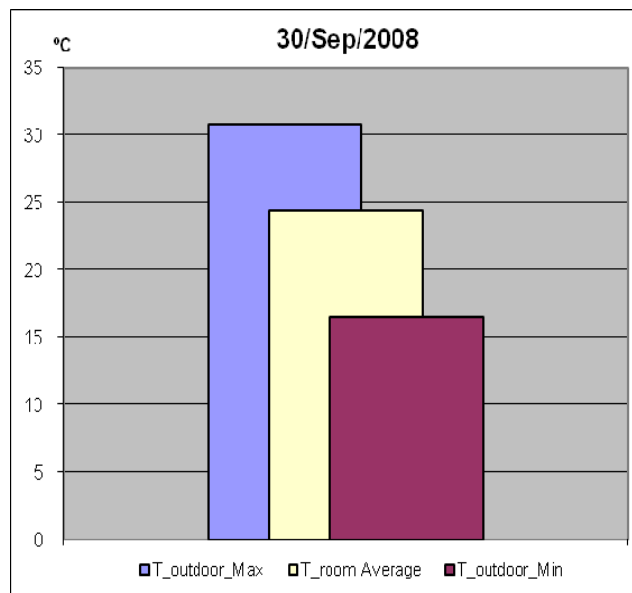




**Fig. 8 – Evolução da temperatura e caudal presentes nos dois circuitos**

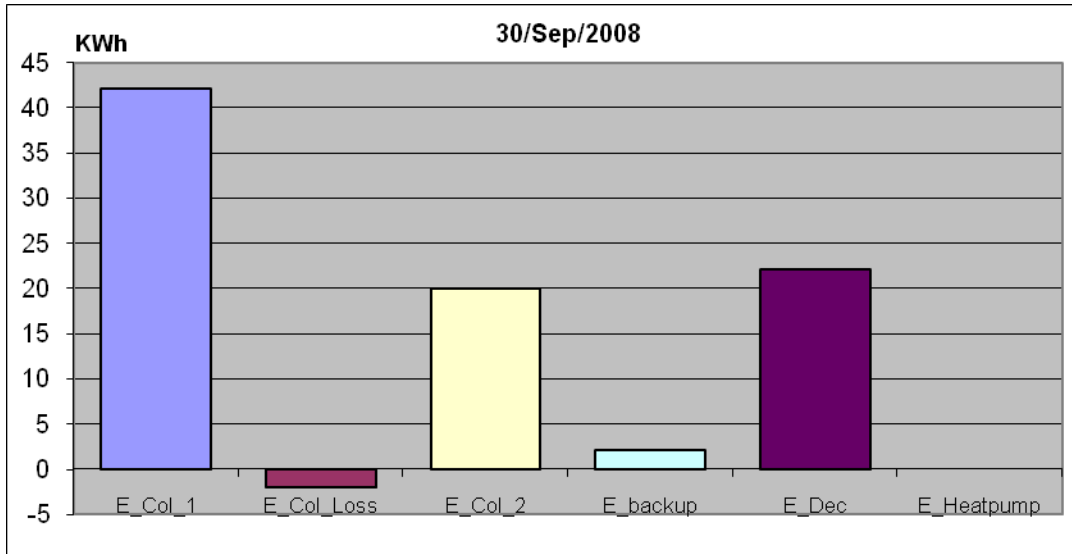
### 3.2 Modo de arrefecimento com humidificador na secção de admissão

A situação de funcionamento analisada neste ponto é o contraponto da situação anterior uma vez que, ainda sem bomba de calor como apoio no modo de arrefecimento, pretende-se aqui mostrar o resultado da introdução do humidificador na secção de admissão da UTA..

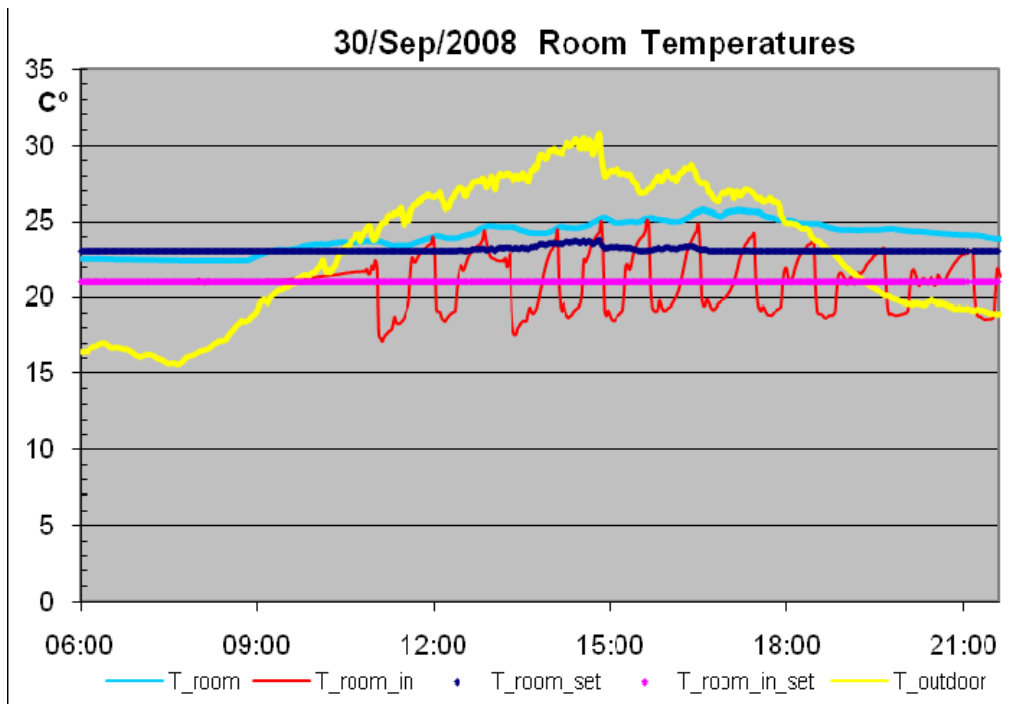


**Fig. 9 - Temperatura interior versus condições externas.**

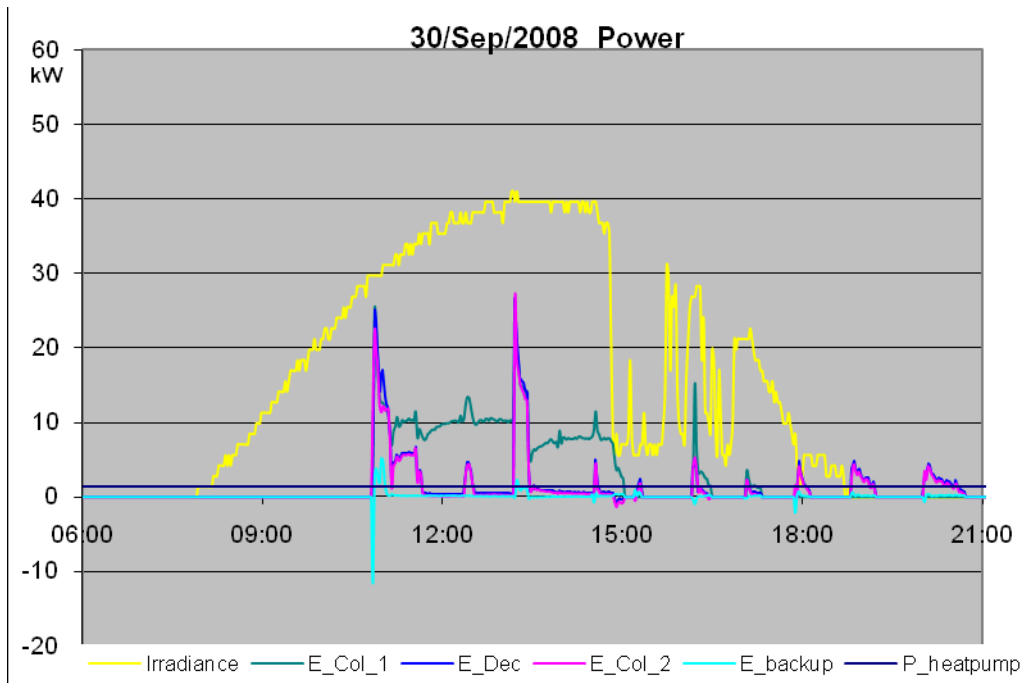
Como no caso anterior, as Figs. mostram gráficos resumo para a temperatura e energia em jogo assim como para a sua evolução no dia representativo que foi seleccionado, verificando-se que o sistema está a funcionar nas condições pretendidas. Neste dia em concreto registou-se uma temperatura exterior de 31°C, tendo o sistema possibilitado a obtenção de uma temperatura no interior dos gabinetes que só ultrapassou ligeiramente os 25°C e durante cerca de 1 hora.



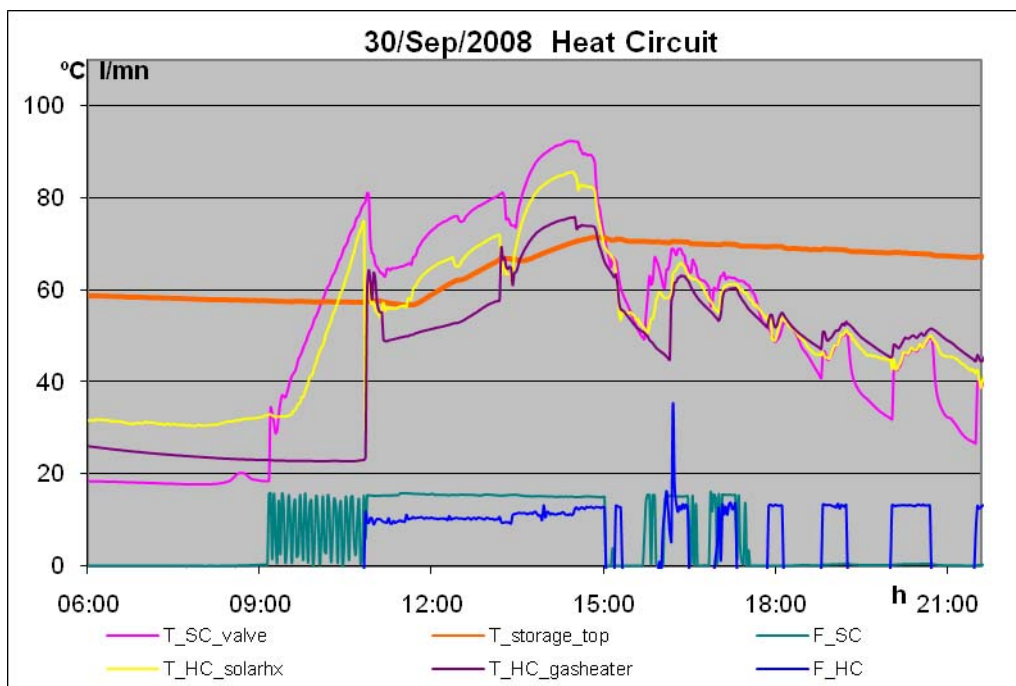
**Fig. 10 – Energia diária fornecida e consumida pelo sistema**



**Fig. 11 - Temperaturas, ambiente, UTA e gabinete.**

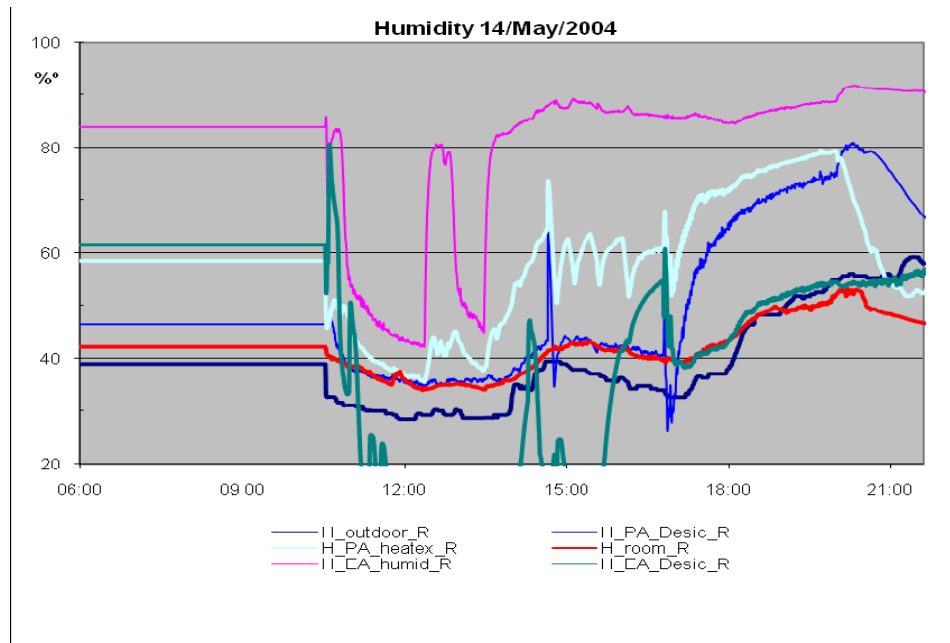


**Fig. 12 – Evolução diária das diversas potências em jogo**

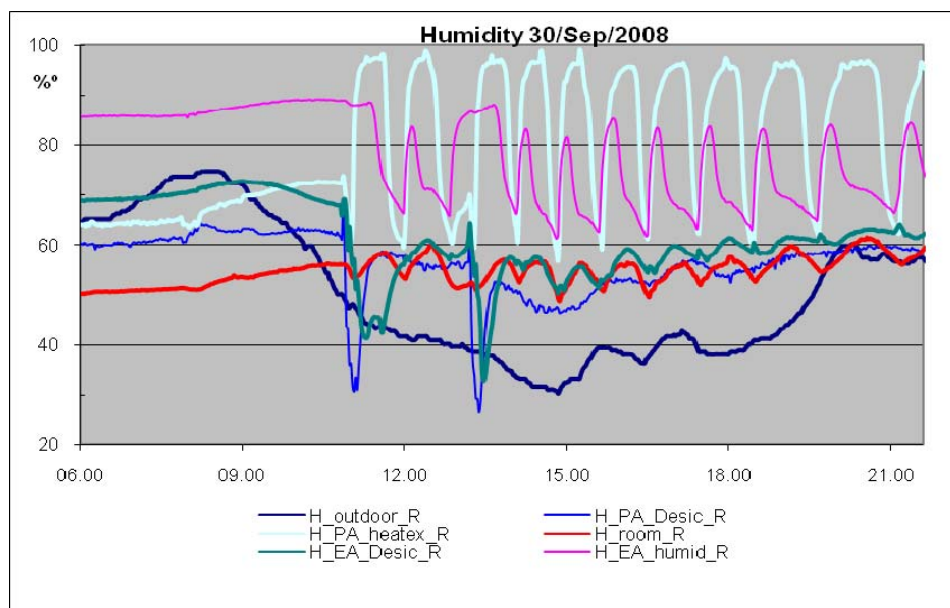


**Fig. 1 - Valores de temperatura e caudal presentes nos dois circuitos**

Nas duas Figs. seguintes comparam-se as condições de humidade em diversos pontos significativos da UTA, verificando-se que o humidificador alterou significativamente as condições de humidade do ar antes da sua insuflação nos gabinetes.



**Fig. 2 – Evolução da humidade na UTA no dia 14 de Maio de 2004 (sem humidificador no final da conduta de admissão)**



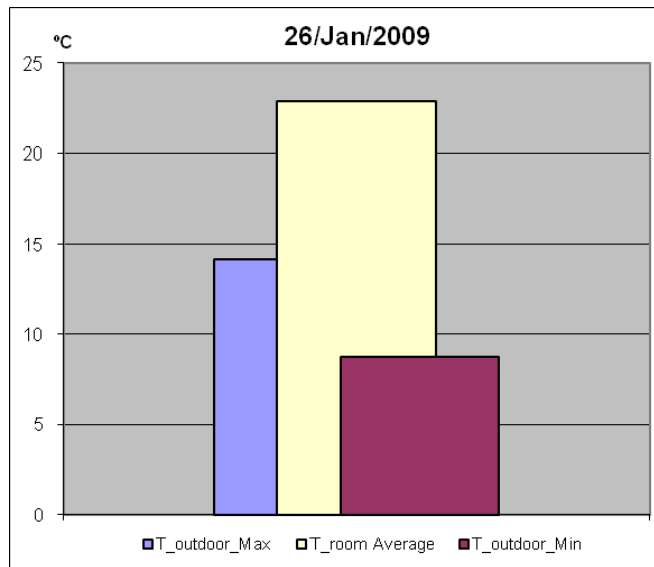
**Fig. 3 - Evolução da humidade na UTA no dia 30 de Setembro de 2008 (com humidificador no final da conduta de admissão)**

A análise do comportamento da UTA nesta fase – com o novo humidificador e sem bomba de calor – permitiu calcular um COP geral de 0.7 considerando todos os consumos energéticos térmicos e eléctricos, incluindo nestes os ventiladores da UTA. Este COP em termos de energia primária representa 0.4 o que traduz a importância do consumo dos ventiladores. De facto e se o consumo destes for excluído, obtemos de novo o valor de

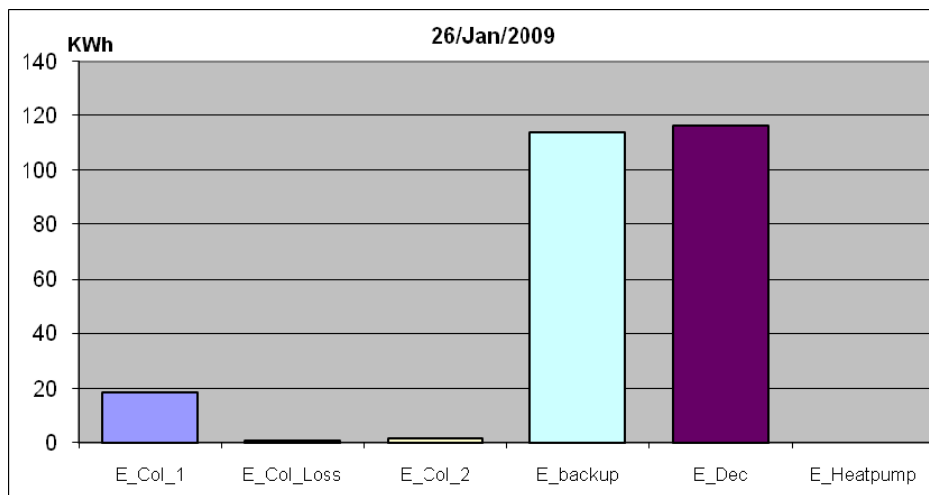
0.7 para o COP em termos de energia primária. Esta análise é muito preliminar e corresponde ao comportamento da UTA num conjunto de dias significativos seleccionados durante os meses de Setembro e Outubro de 2008.

### 3.3 Modo de aquecimento.

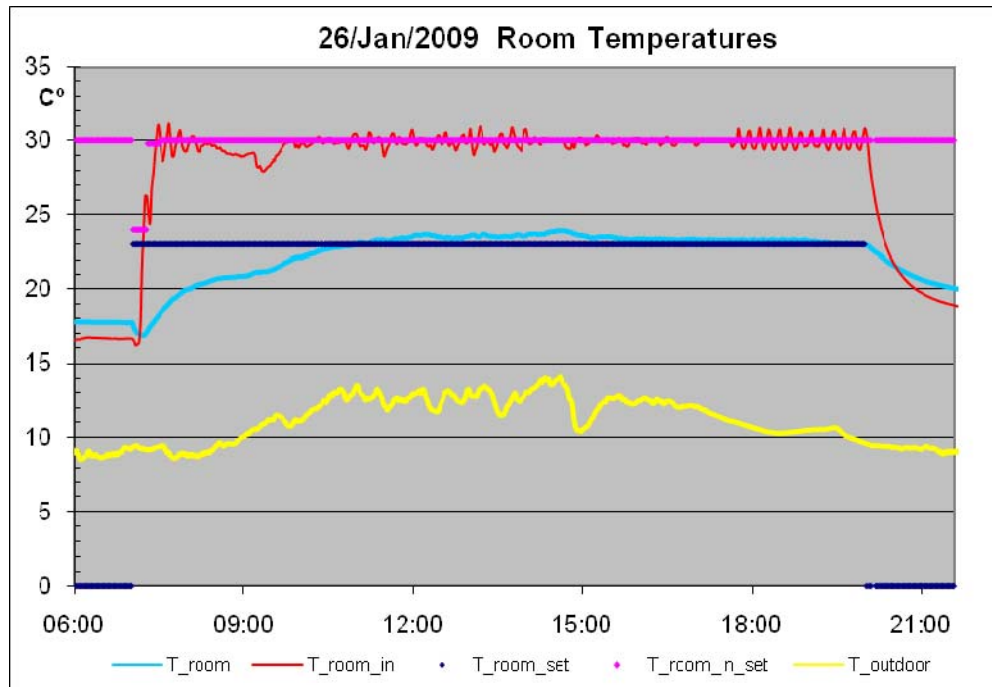
Em modo de aquecimento, a UTA apresenta um comportamento semelhante ao da fase anterior uma vez que a este nível não houve alteração no equipamento instalado. No dia seleccionado há uma forte componente da energia de apoio fornecida pela caldeira, sendo possível verificar o correcto funcionamento do esquema de controlo instalado que permite tirar partido da energia disponível e injectar o ar tratado nas condições óptimas para proporcionar as condições de conforto requeridas.



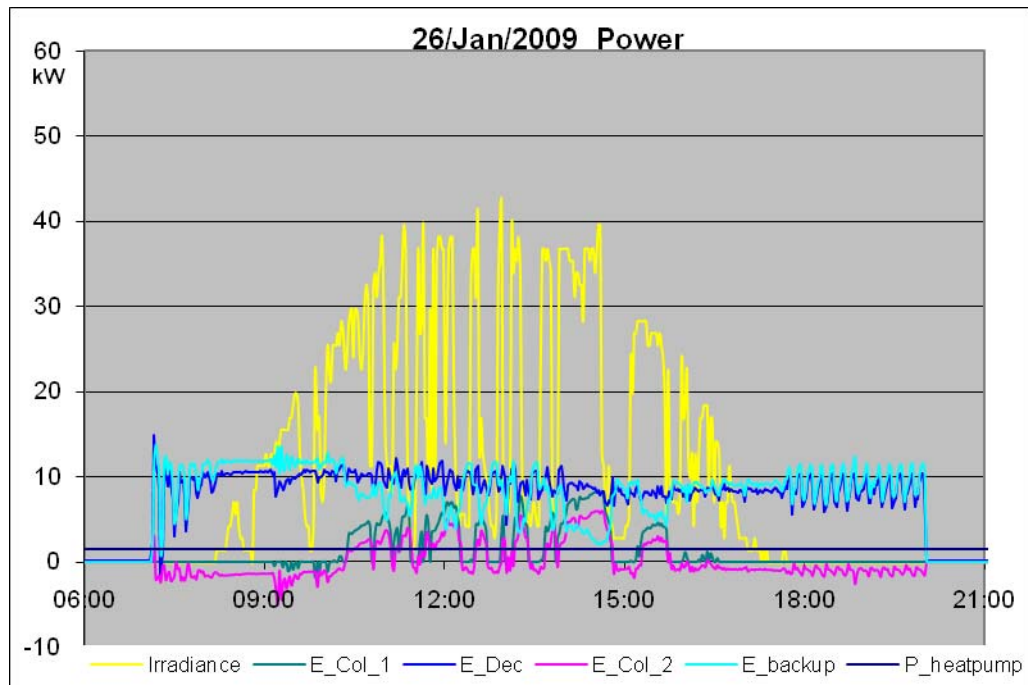
**Fig. 4 - Temperatura interior versus condições externas.**



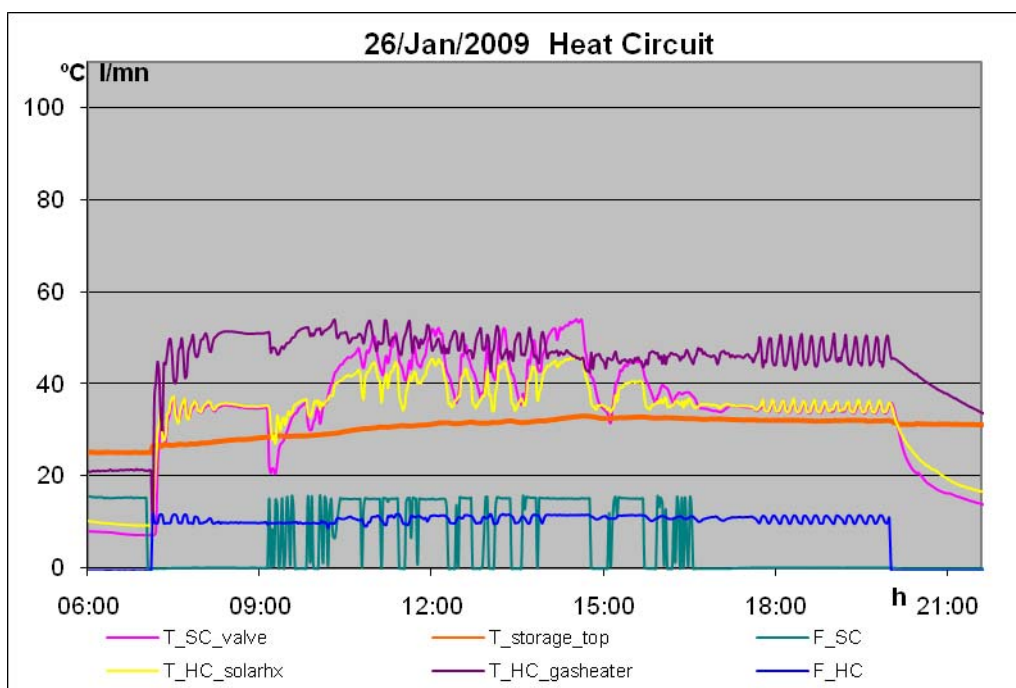
**Fig. 5 - Energia diária fornecida e consumida pelo sistema**



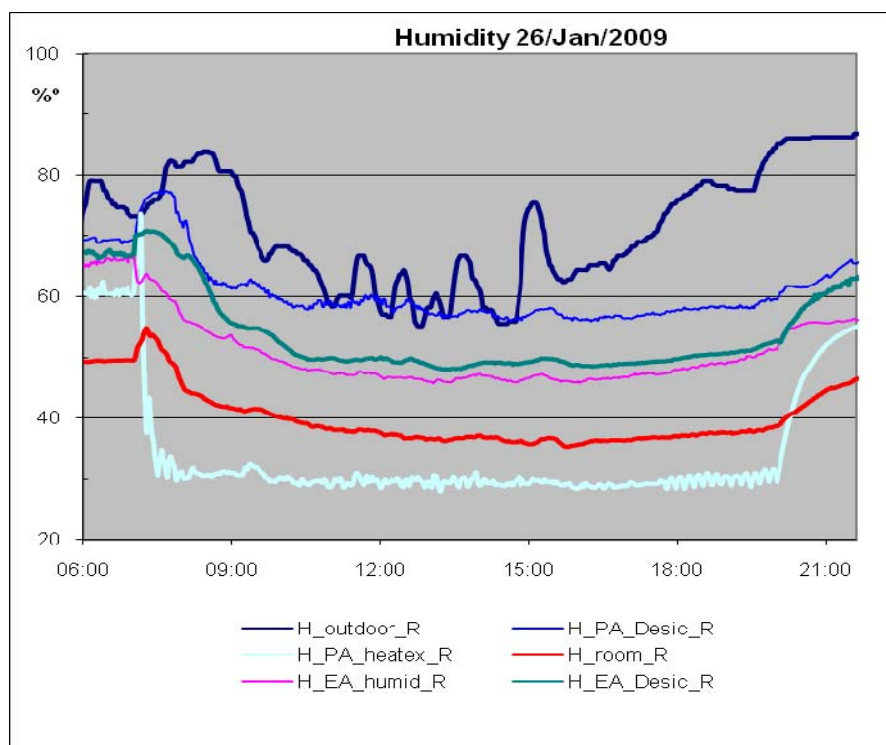
**Fig. 6 - Temperaturas, ambiente, UTA e gabinete.**



**Fig. 7 - Evolução diária das diversas potências em jogo**



**Fig. 8 - Valores de temperatura e caudal presentes nos dois circuitos.**



**Fig. 9 - Valores das diferentes humidades no dia 26 de Janeiro de 2009**

#### 4. CONCLUSÕES

O sistema tem vindo a ser analisado e avaliado desde o início da sua entrada em funcionamento com base na monitorização detalhada que o conjunto de sensores e outro equipamento de medida implantados permite levar a cabo. Essa avaliação mostra que em termos globais o sistema tem vindo a permitir a climatização dos espaços de gabinete inicialmente previstos, com resultados satisfatórios dado o grau de satisfação dos respectivos utentes.

No entanto tem sido igualmente possível a detecção de algumas incorrecções que têm vindo a ser corrigidas, dadas as características de demonstração que este sistema possui, pela sua localização no DER e pelas possibilidades de análise de que dispõe. As alterações introduzidas dizem respeito tanto ao *hardware* como ao *software* de análise e controle. Este último foi alterado ainda numa fase inicial de modo a conferir-lhe características de código aberto que não possuía, possibilitando dessa forma as alterações aos diversos modos de funcionamento, que a experiência foi aconselhando, tendo em vista a maximização do comportamento térmico da UTA.

Ultimamente foi alterado o desenho inicial da UTA com a introdução do humidificador na secção de entrada que não possuía, com a conseqüente alteração no esquema básico de funcionamento, por forma a minimizar o tempo de funcionamento da bomba de calor e a maximizar a fracção solar. O *software* de controle foi alterado em consonância e os resultados foram satisfatórios no essencial, isto é, em termos globais do conforto conseguido nos gabinetes climatizados. Foram no entanto detectadas algumas situações menos conseguidas que se espera possam ser ultrapassadas na próxima época de arrefecimento, através de um conjunto de ajustes ao nível do controle, e principalmente nos modos de funcionamento onde intervém o novo humidificador.

Também a análise de resultados irá ser ajustada ao esquema de análise que foi acordado ao nível da Task 38 do Programa Solar Heating and Cooling da AIE, por forma a serem obtidos os indicadores de performance acordados com base num tratamento de dados standardizado. Também a este nível se espera evoluir e ultrapassar a dispersão na apresentação de resultados que os anos iniciais correspondentes à introdução da tecnologia necessariamente acarreta, tornando mais fácil e mais correcta a comparação entre as diferentes soluções.

É nossa convicção que o conjunto de medidas em curso irá permitir pôr a máquina a funcionar de acordo com as expectativas iniciais, juntando ao grau de satisfação das pessoas que já existe, um bom desempenho em termos energéticos.

Dado que se trata de um dos primeiros sistemas deste tipo instalados em Portugal e dada a sua localização no INETI, o sistema tem vindo a ser largamente visitado por técnicos interessados, a quem são explicados os princípios de funcionamento e os resultados já obtidos; desta forma o carácter de demonstração desta unidade tem vindo a ser cumprido.

#### REFERÊNCIAS

- CODEC Project, Contract JOR3 - CT95 - 0003 (EU DGXII).  
Palz, Wolfgang, 1994, "Role of new and renewable energies in future energy systems", Journal of Solar Energy, Vol. 14, pp 127-140.  
Collares-Pereira, M., 1991, "Solar energy in Europe: Is it being used?", CCE Portugal.  
Henning, Hans-Martin, 2004, "Solar-Assisted Air Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners", editado por Springer-Verlag/Wien no âmbito da Task 25 SHC IEA.



## DESICCANT EVAPORATIVE COOLING TECHNOLOGY ASSISTED BY SOLAR ENERGY. RESULTS OF THE AIR-HANDLING UNIT INSTALLED AT DER/INETI

**João Macau** – joao.macau@ineti.pt  
DER-INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22  
1649-038 Lisboa, Portugal.

**Pedro Ferreira** – pmiguel.ferreira@ineti.pt  
DER-INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22  
1649-038 Lisboa, Portugal.

**Rui Rodrigues** - rui.rodrigues@ineti.pt  
DER-INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22  
1649-038 Lisboa, Portugal.

**João Farinha Mendes** – farinha.mendes@ineti.pt  
DER-INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22  
1649-038 Lisboa, Portugal

**Abstract:** *It is in operation at the Renewable Energy Department of INETI, since 1999, an Air Handling Unit (AHU) which was installed in the framework of an European project (CODEC project) with the objective to demonstrate the Desiccant Evaporative Cooling technology assisted by solar energy. Recently, were introduced some modifications in the AHU configuration, like a new humidifier in the air admission section with the subsequent modification on the control scheme, since the middle of the 2008 summer, which envisage to limit the time operation period of the heat pump, without significant sacrificing of the room comfort. Besides description of main components, operation modes and history of this AHU, this paper will report the modifications introduced and will show and will analyse the results obtained so far in this new phase of operation, after introduction of those modifications, to conclude about the interest of the adopted solution.*

**Keywords:** *Air handling units, desiccant evaporative technology, Solar energy, Solar fraction.*