

Influência das Condições Ambientais no Desempenho Térmico e Energético de Expositores Refrigerados

Pedro Dinis Gaspar*, R.A. Pitarma** e L.C. Carrilho Gonçalves*

* Departamento de Engenharia Electromecânica
Universidade da Beira Interior

Calçada Fonte do Lameiro, 6201-001 Covilhã

Telf: +351 275 329 925; fax: +351 275 329 972; e-mail: dinis@ubi.pt, carrilho@ubi.pt

** Departamento de Engenharia Mecânica

E.S.T.G. - Instituto Politécnico da Guarda

Avenida Dr. Francisco Sá Carneiro, n.º 50, 6301-559 Guarda

Telf: +351 272 220 120; fax: +351 271 222 150; e-mail: rpitarma@ipg.pt

Resumo — Os equipamentos de refrigeração abertos ao ar ambiente são preferencialmente utilizados em superfícies comerciais para a conservação e exposição em frio de produtos alimentares perecíveis, por facilitarem aos consumidores a visualização e manuseamento dos produtos sem qualquer condicionalismo. No entanto, a interação térmica com o ar ambiente do compartimento onde está instalado o equipamento influencia fortemente o seu desempenho térmico e também a sua eficiência energética.

Neste artigo são descritos diversos ensaios experimentais realizados num equipamento de refrigeração vertical aberto ao ar ambiente, segundo a Norma EN 441, com o objectivo de analisar a influência das propriedades do ar ambiente (temperatura, humidade e velocidade do ar), assim como, a sua distribuição espacial e evolução temporal, no desempenho térmico e eficiência energética. Nas avaliações local e temporal das propriedades do ar na zona de exposição e conservação de produtos alimentares, é efectuada uma análise qualitativa e quantitativa da sua variação em função das propriedades do ar ambiente, de modo a conhecer as condições de frio e adoptar eventuais correcções que possibilitem melhorias no desempenho térmico e na eficiência energética do equipamento.

1. Introdução

Actualmente, a importância do sector da refrigeração comercial tem vindo acentuar-se pela necessidade crescente de produtos alimentares frescos nas áreas urbanas, pelo aumento da regulamentação do sector e pelas exigências dos consumidores relativamente à qualidade dos produtos. As características actuais dos empreendimentos comerciais conduzem a uma utilização mais intensiva de equipamentos destinados à exposição e conservação em frio de produtos alimentares perecíveis, bem como dos próprios sistemas de refrigeração. Estas realidades conduzem ao crescimento do consumo energético, a custos operativos mais elevados do sector comercial no que toca aos sistemas de conservação pelo frio, e a diversas consequências ambientais daí resultantes. Paralelamente, quer pela concorrência no mercado, quer

pela evolução das empresas relacionadas com os serviços de alimentação, é exigido a este tipo de equipamentos um potencial de vendas que corresponda ao nível de desempenho comercial pretendido, mesmo que em prejuízo de uma evolução sustentada nos domínios energético e ambiental. Segundo [1], o investimento anual em equipamentos de refrigeração totaliza cerca de 200 mil milhões de dólares e o valor dos produtos alimentares refrigerados é no mínimo de 1200 mil milhões de dólares. Indica ainda que os desafios com vista à optimização da eficiência energética e do desempenho dos sistemas no campo da refrigeração para os próximos 20 anos são: (1) reduzir o consumo energético de 30% a 50%; (2) diminuir para metade as fugas de fluidos refrigerantes; (3) melhorar o LCCP - *Life Cycle Climate Performance* entre 30% a 50%; e (4) reduzir a carga refrigerante de 30% a 50%. Assim, a optimização do desempenho e da eficiência energética de equipamentos de refrigeração reveste-se de enorme importância. No entanto, encontra-se condicionada por variados factores, pelo que se torna fundamental assegurar o desenvolvimento de meios e instrumentos de cálculo para melhorar o desempenho energético, bem como reduzir a incidência sobre o campo ambiental, garantindo a adequada conservação dos produtos alimentares perecíveis.

Razões de marketing determinam que os produtos expostos em diversos expositores refrigerados não possuam uma barreira física entre o consumidor e o produto. A necessidade do consumidor poder ver e manusear sem constrangimentos o produto que se predispõe a adquirir produz alguns problemas técnicos: (1) a cortina de ar, que deverá fornecer uma barreira térmica mas não física, entre o produto e o consumidor, não é perfeita. O ar ambiente quente e húmido do estabelecimento comercial interage e mistura-se com o ar refrigerado do interior do equipamento, sendo também aspirado através da grelha de retorno para o sistema de refrigeração; (2) as características técnicas dos equipamentos, levam à saída de ar refrigerado pela zona inferior do expositor, o que resulta numa perda de capacidade. Estas situações conduzem ao aumento da carga térmica. Factores como sejam as condições do ar ambiente, disposição dos equipamentos no

interior do estabelecimento, condições de armazenamento, padrões de carga, entre outros, influenciam directamente a temperatura dos produtos, a qual deverá permanecer o mais estável possível e próxima do seu valor correcto de conservação. Neste contexto, o trabalho é desenvolvido com principal incidência em expositores abertos verticais (ver Fig. 1). A escolha recaiu sobre esta categoria de expositores, muito por ser esta a que apresenta problemas técnicos mais marcantes, havendo assim necessidade de estudo e investigação mais aprofundados.



Fig .1. Mural Fundador Plus (Cortesia Jordão Cooling Systems®)

Face a vantagens e desvantagens das diversas metodologias de análise e de estudo, experimentais e numéricas, o objectivo do presente trabalho consiste, primeiramente, no desenvolvimento de um estudo experimental para caracterizar profundamente os fenómenos físicos, assente no conhecimento local, e no tempo, das grandezas físicas observáveis, como sejam a velocidade, a temperatura e a humidade do ar. Na análise destas grandezas, a influência das condições do ar ambiente é fundamental tanto para o correcto funcionamento dos equipamentos, como para a determinação de metodologias que promovam a redução do consumo energético e a melhoria do desempenho térmico. Embora a grande maioria destes equipamentos se encontre instalada em grandes superfícies comerciais que possuem condicionamento de ar, pequenas variações das suas propriedades (temperatura, humidade e velocidade) afectam o seu funcionamento. Ainda, a instalação de expositores em pequenos estabelecimentos comerciais como pastelarias, mercearias e afins, torna o seu funcionamento mais susceptível à influência das condições do ar ambiente, já que estas variam de modo significativo em função da zona do País. Segundo [2], os valores anuais médios da temperatura de ar variam entre 7 °C nas terras altas no centro interior de Portugal e 18 °C na área litoral no sul do País. A humidade relativa é influenciada pela precipitação, cujo valor anual médio no território Português é ao redor de 900 milímetros, com um elevado grau de variação espacial. As previsões climáticas indicam um aumento da temperatura média e uma redução da precipitação, com uma estação chuvosa mais curta, mas mais intensa.

É de salientar a escassez de estudos de carácter académico e científico na área da refrigeração comercial, baseando-se a construção dos equipamentos sobretudo em conhecimentos empíricos. Não obstante, tanto o meio industrial como o meio académico têm dedicado alguma atenção aos parâmetros que determinam o aperfeiçoamento

dos equipamentos de refrigeração comercial. No trabalho referenciado em [3], foi realizada uma metodologia de monitorização e medição da velocidade e temperatura no interior de um expositor aberto ao ar ambiente e nas áreas circundantes. O estudo experimental desenvolvido em [4] sobre equipamentos verticais abertos ao ar ambiente com refrigeração à distância teve o intuito de avaliar os efeitos de vários factores no seu desempenho, como sejam a temperatura, a humidade relativa, e escoamento do ar ambiente, velocidade de insuflação de ar refrigerado, escoamento de ar refrigerado através da perfuração do painel frontal, e a aplicação de coberturas nocturnas.

Dada a importância dos conhecimentos dos fenómenos físicos que se processam na zona de interacção térmica da cortina de ar com o ar ambiente, o trabalho citado em [5], consistiu num estudo experimental aerodinâmico de aparelhos de cortina de ar, com o objectivo de avaliar quantitativamente as prestações do aparelho e a sua influência no meio circundante. O estudo experimental efectuado no trabalho citado em [6] consistiu na avaliação do desempenho de vários métodos para controlo dos sistemas de anti-embaciamento constituídos por resistências eléctricas para prevenir o embaciamento das superfícies vidradas, bem como a formação de condensação nas superfícies refrigeradas em expositores refrigerados.

À medida que a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) se foi tornando num método expedito de previsão, diversos investigadores passaram a fazer uso desta técnica metodológica para estudarem e simularem os fenómenos físicos que ocorrem nestes equipamentos e suas vizinhanças. Diversos trabalhos experimentais foram efectuados com o intuito de validar os estudos numéricos. Entre estes, o estudo experimental referenciado em [7] consistiu na construção de um modelo reduzido cuja caracterização construtiva e funcional foi baseada numa análise dimensional e de semelhança da câmara protótipo, para a validação de um modelo computacional através da confrontação com resultados experimentais obtidos pelas técnicas de termometria por termopares e anemometria de fio/filme quente. Neste contexto, o trabalho citado em [8] combinou os métodos experimentais baseados na anemometria de Laser Doppler com modelação por CFD para analisar a infiltração de ar ambiente através de aberturas, com o objectivo de desenvolver métodos que reduzam este fenómeno. Adicionalmente, no trabalho citado em [9], foram experimentalmente verificados os resultados analíticos e as previsões numéricas relativas à infiltração de ar ambiente através das entradas, com diferentes alturas e larguras, de câmaras frigoríficas. A investigação efectuada no trabalho referenciado em [10] permitiu desenvolver um método para avaliar a eficiência da cortina de ar em equipamentos verticais abertos ao ar ambiente, levando em consideração a temperatura de armazenamento dos produtos e a estabilidade da cortina de ar. O estudo realizado no trabalho citado em [11] consistiu na análise numérica e experimental dos parâmetros que influenciam a quantidade de ar ambiente arrastado para o interior do espaço refrigerado num expositor vertical aberto. O trabalho referenciado em [12], consistiu na simulação numérica dos fenómenos de transferência de calor e massa em expositores verticais abertos. Este estudo

foi complementado com a realização de ensaios experimentais (termometria por termopares, anemometria de fio quente a temperatura constante, gases traçadores, termografia por infravermelhos e visualização do escoamento por injeção de fumo). As simulações numéricas efectuadas tiveram por objectivo avaliar a distribuição do campo de velocidades e de temperaturas no interior do equipamento, de modo a identificar eventuais deficiências. Além da configuração original, foram considerados casos de configurações alternativas, cujos resultados numéricos correspondentes a um estudo preliminar de optimização apresentaram melhorias em termos de uniformização e conformidade das grandezas. Após esta síntese de várias investigações realizadas sobre a temática e com base no trabalho desenvolvido na referência [12], conclui-se que devido ao número de variáveis em jogo, o assunto requer pesquisa adicional para poder ser convenientemente descrito.

2. Estudo Experimental

Este estudo parte do trabalho desenvolvido na referência [12] e tem por objectivo estender a amplitude das análises efectuadas. O desenvolvimento e execução do trabalho foram realizados com a colaboração de um fabricante nacional deste tipo de equipamentos (*JORDÃO Cooling Systems*®), pelo que todos os ensaios experimentais foram realizados num equipamento real de teste, no departamento de I&D desta empresa. O estudo experimental foi conduzido de acordo com a Norma EN 441 para equipamentos refrigerados abertos para a classe de produtos M1 (produtos de charcutaria com temperatura de conservação na gama -1 °C a 5 °C). Os ensaios experimentais foram efectuados numa câmara de simulação climática FITOCLIMA 650000 EDTU da ARALAB (www.aralab.pt). Esta câmara de controlo climático possui uma construção e sistema de refrigeração segundo as normativas não poluentes, que permitem a optimização da aerodinâmica interna para melhor uniformidade das condições climáticas pretendidas. Nos 650 m³ de volume interno, a gama de temperatura de ensaios vai desde os -70/-40 °C a 180 °C e a gama de humidade relativa, de 15 % a 98 %. A velocidade de aquecimento e de arrefecimento do ar é respectivamente de 1,5 e 1 °C/minuto, providenciada por um sistema de variação electrónica da intensidade de ventilação. A comunicação por RS-232 com o *software* FITOLOG 7.11 permite a implementação de sistemas de comunicação na aquisição de dados, programação e calibração.

O sistema de aquisição de dados utilizado foi o PC-Logger 3100 (Conversor analógico para ASCII) da INTAB (www.intab.se). Trata-se de um sistema adequado para a gravação de longa duração de sinais de processo e/ou temperaturas. As gamas comuns de entrada situam-se entre os +/-1 V , +/-20 mA ou tensões termoeléctricas. A alta resolução proporcionada pelo conversor analógico-digital de 16 bits (25000 divisões) e a elevada precisão (superior a 400 ppm) permite a este dispositivo obter bons resultados mesmo em condições adversas de medição. O PC-Logger 3100 foi utilizado em conjunto com o *software* EasyView 5. Todos os 24 canais analógicos disponíveis

neste modelo são diferenciais, em que as gamas das entradas são estabelecidas, ajustadas e calibradas de fábrica. A este sistema de aquisição de dados estão conectadas as seguintes pontas de prova: 9 termopares tipo K para medição da temperatura do ar; 5 termopares de contacto tipo K; 4 higrómetros; 2 anemómetros de fio quente; 2 sondas de pressão e uma pinça amperimétrica.

O *software* EasyView 5 apresenta-se fundamentalmente como uma ferramenta gráfica de visualização da evolução das grandezas físicas medidas pelo sistema de aquisição de dados. No entanto, possui outras competências relativas à análise de dados bem como de ferramenta computacional para tratamento dos dados.

Os ensaios experimentais efectuados corresponderam às diferentes condições climáticas indicadas na Norma EN 441. Foram também considerados ensaios em condições do ar ambiente adicionais, face às indicações prestadas pelo fabricante. Estes ensaios surgiram da necessidade de avaliar a influência das condições do ar ambiente no desempenho dos equipamentos decorrente da experiência de instalação dos equipamentos por parte do fabricante nestes ambientes. Os diversos ensaios experimentais, efectuados durante períodos de 12 horas, encontram-se definidos na Tabela I.

TABELA I
DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS - CONDIÇÕES DO AR AMBIENTE

Ensaio N.º	Classe (EN 441)	Temperatura [°C]	Humidade relativa [%]	Velocidade [m/s]
1	1	16	80	0,2
2		20	60	0,2
3	2	22	65	0,2
4		25	35	0,2
5	3	25	60	0,2

As pontas de prova legendadas na Tabela II foram distribuídas no interior do equipamento conforme Fig. 2.a).

TABELA II
LEGENDA E DESCRIÇÃO DAS PONTAS DE PROVA

Pontas de Prova	Grandeza	Tipo	Localização
1	Temperatura	Termopar K	Zona de conservação
2	Temperatura	Termopar K	Grelha de insuflação
3	Temperatura	Termopar K	Grelha de retorno
4	Temperatura Superficial (contacto)	Termopar K	Interior dos produtos
5	Temperatura	Termopar K	Saída do evaporador
6	Temperatura Superficial (contacto)	Termopar K	Entrada do evaporador
7	Velocidade	Anemómetro	Grelha de insuflação
8	Velocidade	Anemómetro	Grelha de retorno
9	Humidade	Higrómetro	Zona de conservação
10	Humidade	Higrómetro	Grelha de insuflação
11	Humidade	Higrómetro	Grelha de retorno
12	Corrente	Pinça Amp.	Alimentação

Para efectuar mais uma série de medições durante os ensaios experimentais, foram utilizados os seguintes equipamentos: nas medições da temperatura e velocidade do ar junto às grelhas de insuflação e retorno, ao grupo de refrigeração, assim como no painel frontal perfurado, foi utilizado um termo-anemómetro de fio quente, referência AM 4003 (Ponta de prova n.º 13). Nestas mesmas

localizações, foi determinada a queda de pressão fazendo uso de um micro-manómetro Air Instruments Resources, referência MP3KDS (Ponta de prova n.º 14). A temperatura das várias superfícies interiores do equipamento foi obtida com um termómetro digital FLUKE 51, com termopar tipo K (Ponta de prova n.º 15). Para avaliar *in-loco* a evolução da temperatura do ar na zona de exposição e conservação, foram distribuídos vários termómetros digitais LIANG CHERNG, referência AWM 2464 com ponta de prova, termopar tipo K. (ver localização das pontas de prova na Fig. 2.b). Foram efectuadas diversas séries destes ensaios de modo a reduzir a incerteza dos resultados tendo sido considerado o valor médio das grandezas físicas em função da repetibilidade dos valores das medições.

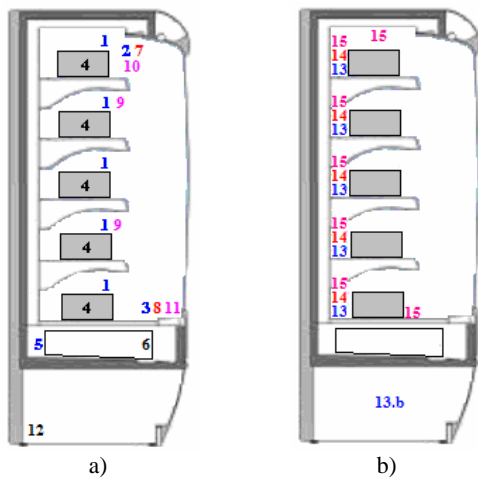


Fig. 2. Localização das pontas prova.

Foram inicialmente efectuados vários ensaios experimentais para avaliar a influência das condições do ar ambiente nas grandezas em estudo ao longo do comprimento do equipamento (1,8 m). Para tal, as pontas de prova foram localizadas em 3 planos verticais (0,45 m; 0,9 m; 1,35 m). Após ter sido verificada a inexistência de efeitos de extremidade assinaláveis nas grandezas objecto, os distintos ensaios experimentais em função das condições do ar ambiente foram realizados para o plano médio (0,9 m). Na Fig. 3 é apresentada a disposição do equipamento no interior da câmara climática, assim como a distribuição das pontas de prova no espaço destinado à exposição e conservação em frio dos produtos alimentares.

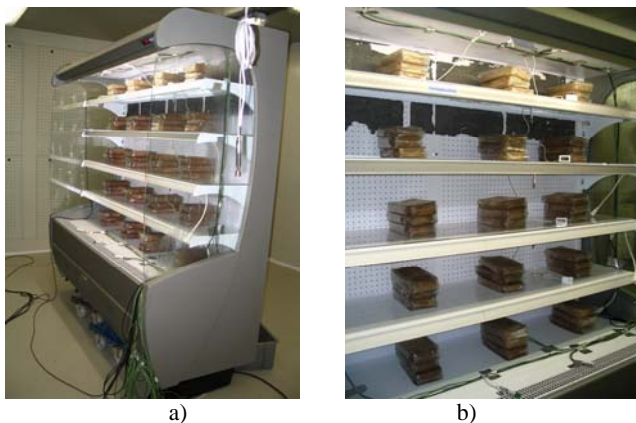


Fig. 3. Disposição genérica dos dispositivos de sensorização.

3. Resultados

Na Tabela III são apresentados os valores médios das grandezas em estudo para os distintos ensaios. Foi considerada a média dos valores, pois embora os resultados se mantivessem estáveis, foram obtidos em regime transitório de funcionamento do equipamento.

Aos valores da temperatura e humidade do ar na zona de exposição e conservação de produtos (sonda n.º 1 e n.º 9); da temperatura no interior dos simuladores de produtos alimentares (sonda n.º 4); e temperatura, humidade e velocidade do ar junto aos orifícios da parede frontal (sondas n.º 13, 14 e 15), foi novamente determinada a média de modo a obter valores globais para o espaço de exposição e conservação em frio dos produtos.

TABELA III
RESULTADOS EXPERIMENTAIS (VALORES MÉDIOS)

sonda	grandeza		Ensaio				
			1	2	3	4	5
1	T_{med}	°C	1,79	2,29	5,27	5,91	3,94
2	T	°C	0,64	1,93	1,96	1,65	2,83
3	T	°C	4,68	7,12	8,29	10,71	9,24
4	T_{med}	°C	2,61	3,23	5,26	4,36	2,87
5	T	°C	-1,12	-1,27	-0,50	-2,90	-1,09
6	T	°C	-0,07	-1,34	1,67	-5,69	-0,84
7	V	m/s	1,41	1,33	1,42	1,37	1,34
8	V	m/s	1,47	1,69	1,90	1,47	1,67
9	HR_{med}	%	85,07	-	85,42	68,24	-
10	HR	%	85,87	82,53	82,31	79,67	78,66
11	HR	%	96,16	93,86	97,76	67,44	96,42
12	I	A	3,73	5,38	5,87	7,55	6,94
13	T_{med}	°C	-	-	4,12	-	5,75
13	V_{med}	m/s	-	1,60	1,46	-	1,85
14	p_{med}	Pa	-	1,60	1,52	1,81	1,44
15	T_{med}	°C	-	5,21	2,03	2,13	7,56
13.b	T	°C	-	29,50	20,00	42,00	30,50

Como exemplo, apresentam-se nas Figs 4 a 6, as evoluções da temperatura, humidade e velocidade do ar para o ensaio n.º 1 (condições do ar ambiente: $T = 16$ °C; $HR = 80$ %; $V = 0,2$ m/s).

4. Discussão dos resultados

Face aos resultados obtidos nos distintos ensaios, expostos na Tabela III, salientam-se os seguintes pontos:

- (1) A temperatura do ar na zona de exposição e conservação de produtos, assim como a temperatura do ar insuflado pela cortina e aspirado de retorno ao evaporador, aumenta com o incremento da temperatura ambiente.
- (2) Adicionalmente, verifica-se que a humidade relativa do ar também influencia a temperatura a que os produtos se encontram, situação que é mais expressiva na comparação entre o ensaio n.º 4 e n.º 5. Isto é, um baixo valor da humidade relativa, irá acarretar um aumento da temperatura de conservação dos alimentos.

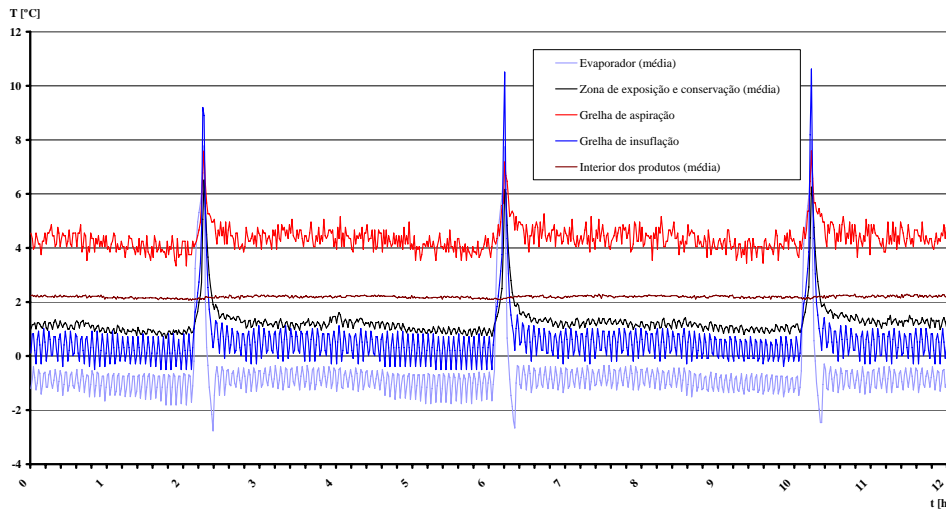


Fig .4. Evolução temporal da temperatura do ar e dos produtos em distintas zonas do equipamento (Ensaio n.º 1).

Considerações:

- (1) A temperatura dos simuladores de produtos encontra-se estável e dentro das normas.
- (2) Como o ciclo de descongelação das alhetas do evaporador é realizado através de resistências eléctricas, é facilmente analisado o seu efeito na temperatura do evaporador e do ar insuflado pela cortina.
- (3) Para estas condições ambiente, o equipamento tem um funcionamento muito estável, apresentando um desempenho térmico muito aceitável.

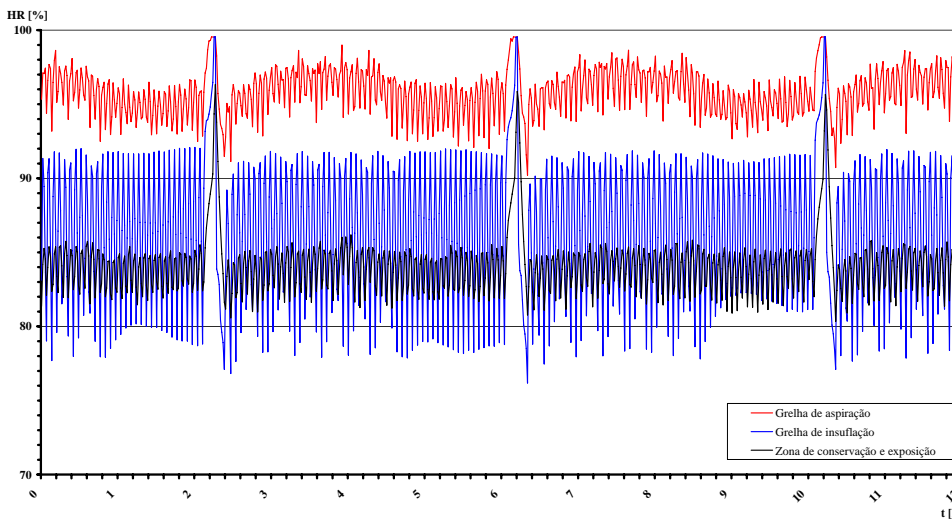


Fig .5. Evolução temporal da humidade relativa do ar em distintas zonas do equipamento (Ensaio n.º 1).

Considerações:

- (1) É visível a influência do ciclo de descongelação na humidade relativa ar. O aquecimento das alhetas do evaporador e conseqüente descongelação do gelo que existia na sua superfície aumenta o conteúdo de humidade transportado pelo ar.
- (2) Para produtos como sejam: charcutaria, carnes frescas, legumes e marisco, a elevada humidade relativa é fundamental para assegurar a correcta conservação dos produtos em termos de aspecto, paladar e odor.

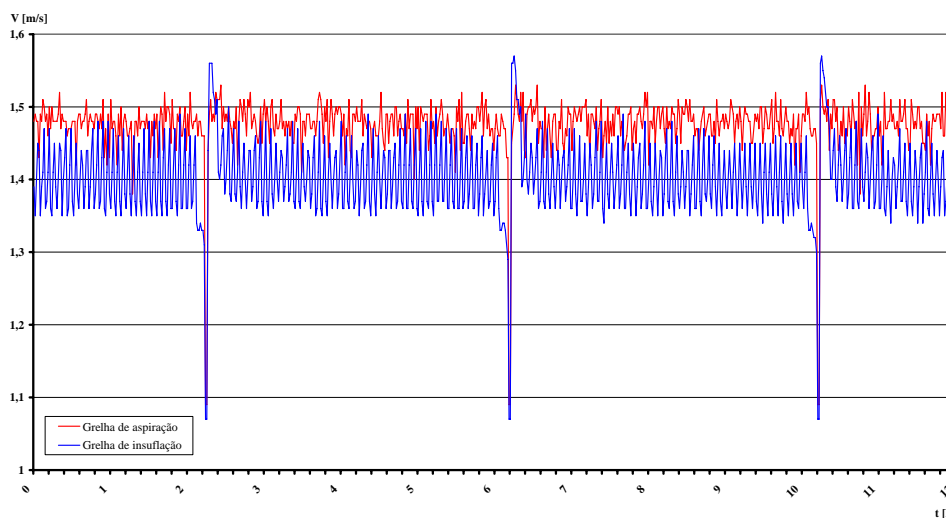


Fig .6. Evolução temporal da velocidade do ar nas grelhas de insuflação e aspiração (Ensaio n.º 1).

Considerações:

- (1) Como os ventiladores estão localizados junto à grelha de aspiração, a velocidade do ar encontrada nesta zona é maior.
- (2) É de salientar que a grelha de insuflação é formada por favos de abelha com o objectivo de reduzir a intensidade de turbulência, mantendo assim a cortina de ar o mais estável possível. Esta situação é fundamental para que se reduza a mistura térmica com ar ambiente.

(3) Tendo em consideração, que os ensaios foram efectuados para a classe M1 de produtos, mais especificamente, carne, pretende-se que o espaço de conservação possua uma humidade relativa bastante elevada para não desidratar o produto, mantendo todas as suas características apelativas (cor, paladar e odor). Esta situação poderá ser conseguida diminuindo o espaçamento entre as alhetas do evaporador, possuindo o ar insuflado para a zona de exposição e conservação um maior conteúdo de humidade. No entanto, esta solução irá determinar o bloqueio mais rápido do evaporador, ou seja, terá que ser aumentado o número de ciclos de descongelação para o mesmo período, de forma a garantir o correcto funcionamento do equipamento.

(4) O consumo energético do equipamento, dependerá das condições do ar ambiente, de forma directa da temperatura, já que quanto maior esta for, maior terá que ser a carga refrigerante de modo a arrefecer os produtos. O consumo dependerá de forma indirecta da humidade relativa, pois quanto maior esta for, maior será o factor de *bypass* do evaporador (razão entre o caudal mássico de ar não refrigerado e o caudal mássico de ar total), assim como o tempo de funcionamento das resistências eléctricas de descongelação do evaporador.

(5) Dos ensaios efectuados e respectivos resultados, torna-se evidente que as condições do ar ambiente influenciam drasticamente o funcionamento do equipamento. A temperatura do ar ambiente irá influenciar a temperatura na zona de exposição e conservação dos produtos, bem como o consumo energético. Por sua vez, a humidade relativa do ar ambiente irá influenciar o funcionamento do equipamento, já que com o seu aumento, os ciclos de descongelação do evaporador serão mais longos, aumentando o consumo energético. Adicionalmente, a sua influência sobre a temperatura dos produtos será sentida através da carga térmica do ciclo de descongelação que será imputada aos produtos durante esse período.

5. Conclusão

Neste artigo foram apresentados os desafios com que se depara a refrigeração comercial nos anos vindouros, de modo a melhorar o desempenho térmico e reduzir o consumo energético dos equipamentos. Neste trabalho, foi apresentada uma série de estudos experimentais sobre os fenómenos físicos que ocorrem nestes equipamentos e/ou em dispositivos que possuem. A partir desta revisão bibliográfica, detectou-se a necessidade de investigar a influência das condições do ar ambiente: temperatura, humidade e velocidade do ar no desempenho, tanto térmico como energético dos equipamentos. Assim, apresentou-se um estudo experimental com o objectivo de analisar a influência das condições do ar ambiente nas grandezas relevantes para o desempenho térmico (temperatura e humidade relativa do ar na zona de exposição e conservação de produtos e temperatura interna dos produtos) e eficiência energética (consumo energético).

Dos vários ensaios experimentais realizados, conclui-se que a temperatura do ar ambiente é mais influente que a humidade relativa do ar ambiente na temperatura do ar

na zona em estudo. Maior temperatura do ar ambiente acarretará um funcionamento mais contínuo e intenso do sistema de refrigeração, que por sua vez levará a um incremento do consumo. Por sua vez, a humidade relativa do ar ambiente influencia o consumo energético, pois o seu aumento acarreta o estabelecimento de ciclos de descongelação no evaporador mais prolongados. Todavia, a humidade relativa do ar possui importância adicional nas características dos produtos alimentares como sejam a cor, paladar e odor.

Deste modo, constatou-se que as condições do ar ambiente influenciam de modo relevante o correcto funcionamento dos equipamentos, pelo que, numa perspectiva de melhorar o desempenho térmico e reduzir o consumo energético, tendo em consideração os cenários das previsões futuras das condições do ar ambiente, o projecto destes equipamentos deverá ser mais cuidado e ter em consideração uma gama ampla de condições do ar ambiente.

Agradecimentos

Agradece-se à JORDÃO Cooling Systems® pela colaboração no trabalho, e em particular ao Eng.º Luís Basto pela disponibilização de todos os elementos necessário à prossecução dos objectivos.

Referências

- [1] Int. Institute of Refrigeration – IIR, “Industry as a partner for sustainable development - Refrigeration”, Int. Institute of Refrigeration, UNEP - United Nations Environment Programme, 2002.
- [2] Miranda, P.M.A., Coelho, F.E.S., Tomé, A.R., Valente, M.A., Carvalho, A., Pires, C., Pires, H.O., Pires, V.C. e Ramalho, C., “20th century portuguese climate and climate scenarios”, in F.D., Forbes, K. e Moita, R., *Climate change in Portugal: scenarios, impacts and adaptation measures*, Gradiva, 2002.
- [3] Palmer, G. “Benefits of new refrigerated cabinet design by measurement of air temperatures and velocities on-site”, Oscar Faber Applied Research, 2000.
- [4] Chen, Yun-Guang e Yuan, Xiu-Ling, “Experimental study of the performance of single-band air curtains for multi-deck refrigerated display cabinet”, *Journal of Food Engineering*, vol. 69, issue 3, Aug. 2005.
- [5] Silva, M.C.G., Neto, L.P. e Brites, G.V., “Vedação aerodinâmica por cortina de ar – Ensaios experimentais”, in *I Jornadas Técnicas de Primavera da EFRIARC*, 2001.
- [6] Faramarzi, R., Coburn, B. e Sarhadian, R., “Anti-sweat heaters in refrigerated display cases”, *ASHRAE Journal*, vol. 43, n.º 6, Jun. 2001.
- [7] Pitarma, R.A., “Modelação matemática e experimental de câmaras frigoríficas de veículos”, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, U.T.L., Lisboa, Abril, 1998.
- [8] Foster, A.M., Barrett, R., James, S.J. e Swain, M.J., “Measurement and prediction of air movement through doorways in refrigerated rooms”, *Int. Journal of Refrigeration*, vol. 25, issue 8, Dec. 2002.
- [9] Foster, A.M., Swain, M.J., Barrett, R. e James, S.J., “Experimental verification of analytical and CFD predictions of infiltration through cold store entrances”, *Int. Journal of Refrigeration*, vol. 26, issue 8, Dec. 2003.
- [10] Axell, M. e Per Fahlén, “Design criteria for energy efficient vertical air curtains in display cabinets”, in *21st IIR Int. Congress of Refrigeration*, Washington DC, Aug. 2003.
- [11] Navaz, H.K., Henderson, B.S., Faramarzi, R., Pourmovahed, A. e Taugwalder, F., “Jet entrainment rate in air curtain of open refrigerated display cases”, *Int. Journal of Refrigeration*, vol. 28, issue 2, Mar. 2005.
- [12] Gaspar, P.D., “Estudo numérico e experimental do desempenho térmico de equipamentos expositores refrigerados”, Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Julho, 2002.