

MERCOFRIO 2000 - CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL

AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO EMPREGO DE COBERTURAS TÉRMICAS EM EXPOSITORES REFRIGERADOS ABERTOS

Nathan Mendes – nmendes@ccet.pucpr.br

Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR/CCET),

Laboratório de Sistemas Térmicos (LST)

Rua Imaculada Conceição, 1155

Curitiba-PR, 80.215-901, Brasil

Nivaldo Mendes – eliseeps@uol.com.br

***Resumo.** Este é um estudo da influência da utilização de coberturas térmicas no desempenho energético de expositores refrigerados abertos em supermercados; foi realizado durante o verão na cidade de Joinville-SC, e se constatou grande redução de desperdício de energia elétrica, entre outros benefícios.*

***Palavras-chave:** Economia de energia, Refrigeração comercial, Eficiência energética em supermercados*

1. INTRODUÇÃO

Gastos com energia elétrica têm sido alvo de preocupação em diversos setores da sociedade, inclusive o alimentício. Atualmente, muitos supermercadistas apostam em política estratégica de economia de energia em suas lojas, para se obter uma considerável diminuição dos preços de seus produtos, pois é fato que a refrigeração, em supermercados, é responsável por grande parte do consumo de energia do setor.

Relevante é o fato, constatado pelo PROCEL, de que apenas os refrigeradores domésticos são responsáveis por 33% da energia consumida pelo setor residencial, ou seja, cerca de 7% do total consumido no País (Lamberts, 1997 e 1998).

No entanto, uma das grandes diferenças, entre a refrigeração comercial e a residencial, é devido à alta carga de infiltração presente em expositores refrigerados abertos.

Surge, assim, o objetivo da presente análise sobre o desempenho energético de expositores refrigerados abertos em supermercados; foram utilizadas coberturas térmicas para reduzir as trocas de calor por infiltração de ar entre o interior do expositor e o recinto. O trabalho foi desenvolvido durante o verão em um supermercado de Joinville-SC.

Concluiu-se, através de medições realizadas em campo, que o uso de uma cobertura térmica pode proporcionar sensível redução de a) consumo de energia, b) custos de manutenção, c) perda de alimentos, d) operações de degelo, como principais benefícios.

2. PROBLEMA DE PESQUISA

Discute-se, neste item, as cargas de resfriamento presentes que são as verdadeiras responsáveis pelo consumo de energia em expositores refrigerados abertos. Sabe-se que esses expositores trocam calor com o ambiente circundante de diversas formas, as quais podem ser

descritas, através de um balanço de energia de forma global no expositor com n produtos como,

$$\sum_{i=1}^n \left(\rho_i c_i V_i \frac{dT_i}{dt} + \rho_{ar} c_{ar} V_{ar} \frac{dT_{ar}}{dt} \right) + \rho_{ar} c_{ar} V_{ar} \frac{dT_{ar}}{dt} = Q_{Cod} + Q_{Rad} + Q_{Inf} + Q_{Acs} - \quad (1)$$

onde:

- ρ_i massa específica do produto i do expositor
- c_i calor específico do produto i do expositor
- V_i volume do produto i do expositor
- T_i temperatura do produto i dentro do expositor
- ρ_{ar} massa específica do ar dentro do expositor
- c_{ar} calor específico do ar dentro do expositor
- V_{ar} volume de ar dentro do expositor
- T_{ar} temperatura do ar dentro do expositor
- Q_{Cod} calor trocado com o exterior por condução através das superfícies que envolvem o expositor
- Q_{Rad} calor trocado por radiação entre produtos e superfícies internas do expositor e as superfícies externas
- Q_{Inf} calor trocado com o exterior por infiltração (sensível e latente) através de trocas convectivas entre a massa quente externa e a fria interna
- Q_{Acs} calor gerado internamente devido a acessórios como iluminação interna, motor de ventiladores (forçadores de ar), e de resistências de degelo e anti-sudação)
- Q_{Evp} calor retirado do expositor pelo evaporador para manutenção da baixa temperatura do expositor.

Segundo Faramarzi R. (1999), em expositores abertos de laticínios, as principais cargas de resfriamento são infiltração, iluminação interna do expositor, motores dos forçadores de ar, radiação e condução. A distribuição dessas cargas encontradas por Faramarzi R. (1999), para um expositor de 2,4m de abertura vertical com um ar externo a 24C e 55% de umidade relativa, pode ser vista na Fig.1.

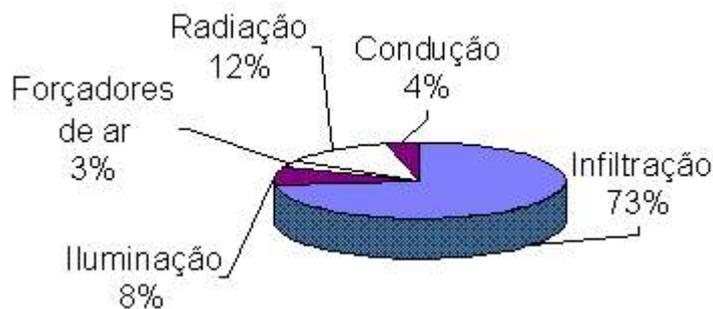


Figura 1: Percentual de cargas em um expositor de laticínios (Faramarzi R., 1999)

Nota-se pela Fig. 1 o quão significativa é essa carga de infiltração em expositores abertos. Na verdade, essas cargas foram obtidas de um expositor com cortina de ar, a qual reduz a infiltração. Entretanto, grande parte dos expositores utilizados no País não possuem essa cortina de ar.

Essa carga de infiltração possui duas componentes: sensível e latente. A porcentagem da carga de infiltração latente aumenta com a umidade do ar, e no caso em análise, essa carga é consideravelmente expressiva, pois a cidade de Joinville apresenta uma umidade relativa muito alta, principalmente no verão.

Outro efeito negativo da infiltração, além das cargas sensível e latente, é que esse ar mais úmido passa pelo evaporador, provocando uma maior formação da camada de gelo e, conseqüentemente, uma diminuição da troca de calor entre o refrigerante e o ar a ser refrigerado no evaporador (Q_{Evap}), ou seja, uma diminuição da eficiência acarretando um maior consumo de energia.

A ilustração desse problema e uma solução parcial com a utilização de coberturas térmicas são apresentadas e discutidas nas seções seguintes.

3. METODOLOGIA

O estudo, realizado nos dias 22, 23, 24 e 25 de janeiro de 1998, em períodos alternados (com e sem cobertura), teve como base o desempenho de um expositor vertical de laticínios de 6m de comprimento e de um horizontal (ilha) de congelados de 3m de comprimento, plenamente abastecidos (Figs 4, 5, 6 e 7). Os dados sobre os equipamentos frigoríficos encontram-se na Tab. 1.

Tabela 1: Dados dos equipamentos da marca Eletrofrío S/A.

Expositor	Tensão/Freq.	Compressor	Compr.	Estado de Conservação
Vertical	380V/60Hz. (15 A máx.)	Maneurop MT 50HK9VE 3HP	6 m	Bom (6 meses de uso)
Horizontal	380V/60Hz.	Maneurop MT 50HK9VE 3HP	3 m	Bom (6 meses de uso)

Utilizou-se nas medições o sistema de aquisição de dados ACR3, mostrado na Fig. 2, para medição de corrente elétrica programado por um microcomputador portátil.

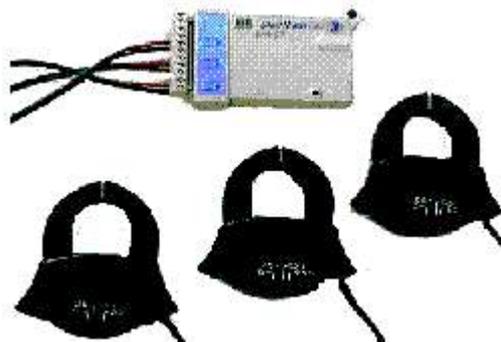


Figura 2: Equipamento de medição de corrente elétrica ACR3

A Figura 3 apresenta a instrumentação da casa de máquinas (unidades condensadoras – compressor e condensador - e quadros de comando elétrico) para os sinais de corrente e tensão elétricas e de temperatura.



Figura 3: Casa de máquinas e instrumentação

4. RESULTADOS

Apresentam-se a seguir os resultados em duas partes: 1^a., o expositor horizontal e 2^a., o expositor vertical.

4.1 - Expositor horizontal

A Fig. 4 exibe o expositor horizontal para produtos congelados sem acionamento das coberturas, operando na faixa de -21°C a -25°C .



Figura 4: Expositor horizontal (ilha) com as coberturas não-acionadas

Apresenta-se, na Figura 5, o mesmo expositor, visto da outra extremidade, com as coberturas acionadas.



Figura 5: Expositor horizontal com as coberturas acionadas.

A Figura 6 mostra a evolução da corrente elétrica associada ao expositor horizontal nas madrugadas dos dias 24 (sem cobertura) e 25 (com cobertura).

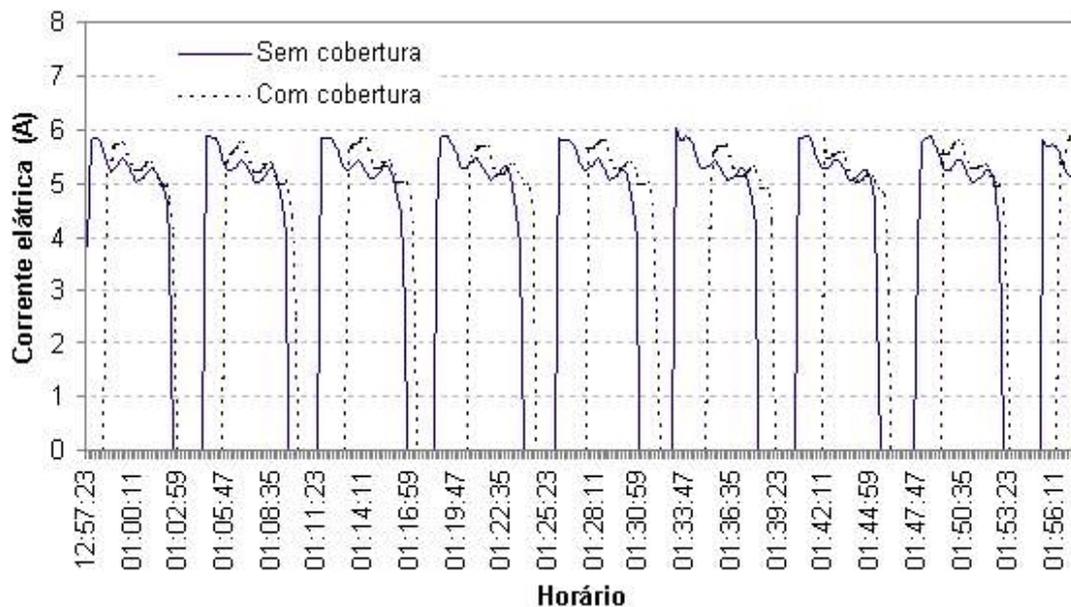


Figura 6: Corrente elétrica medida no expositor horizontal.

A redução de consumo de energia calculada pela Eq. (2) - no período noturno com as coberturas acionadas - foi de 19.7% no expositor horizontal. Redução semelhante foi registrada ao se comparar o consumo de energia das 12 às 13h (com cobertura) com o das 13 às 14h (sem cobertura) do mesmo dia.

$$R_{ed} = 100 \frac{\left[\int_{t_i}^{t_f} VI(t)dt \right]_{\text{expositor aberto}} - \left[\int_{t_i}^{t_f} VI(t)dt \right]_{\text{expositor fechado}}}{\left[\int_{t_i}^{t_f} VI(t)dt \right]_{\text{expositor aberto}}} \% \quad (2)$$

onde:

- R_{ed} => Redução do consumo de energia (%)
- V => Tensão (Volt) – 380V
- I => Corrente (Ampère)
- t => tempo (segundo)
- t_f-t_i => intervalo de integração desejado (22:15 – 6:30).

Avalia-se que no caso de a loja funcionar todos os dias da semana – com as cortinas fechadas por 8h30min/dia e um fator de potência de 0,85 -, o consumo mensal referente ao período noturno seja de 420kWh/mês, contra os 524kWh/mês no caso do não-acionamento das coberturas.

4.2 - Expositor vertical



Figura 7: Expositor vertical com as coberturas não-acionadas



Figura 8: Expositor vertical com as coberturas acionadas

No expositor vertical não foram obtidos dados de consumo de energia em razão de o controle ser feito por estágios (Fig. 9). No entanto, foram comparadas as temperaturas das prateleiras às 9h30min do dia 22/1/98 (sem cobertura) com as do mesmo horário do dia 23/1/98 (com cobertura) e constatou-se que as coberturas proporcionaram uma redução de temperatura de 10°C para 6°C.

Observa-se, na Fig. 9, a evolução da corrente elétrica para um expositor vertical aberto com coberturas não-acionadas. Nota-se que o expositor permanece muito pouco tempo desligado. A utilização das coberturas, para esse expositor, auxilia apenas num abaixamento de temperatura em 4°C, mas com o mesmo consumo, devido ao seu controle temporizado. Esse abaixamento de temperatura favorece a conservação dos alimentos no interior do expositor.

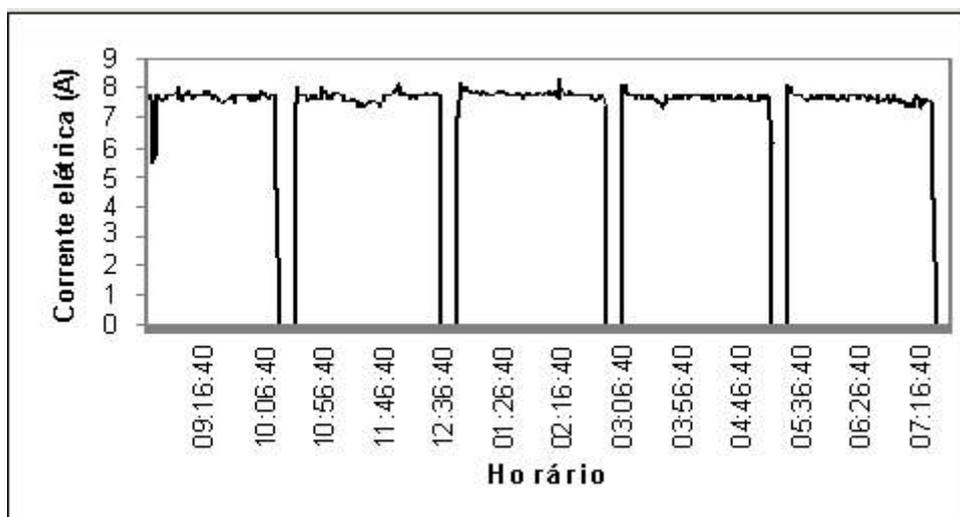


Figura 9: Evolução da corrente elétrica no expositor vertical.

5. CONCLUSÕES

Verificou-se que a utilização de coberturas térmicas em expositores refrigerados atinge uma economia de cerca de 20% para expositores refrigerados horizontais, abertos. Espera-se uma redução superior para um expositor vertical termostaticamente controlado, uma vez que na configuração vertical as perdas por infiltração são muito maiores, ou seja, ocorre uma fuga de massa de ar frio muito maior do que no caso do expositor horizontal; todavia, não foi possível quantificar a redução de consumo de energia do expositor vertical, controlado por temporizador. Por outro lado, notou-se decréscimo de temperatura de até 4°C com o acionamento das coberturas no balcão de laticínios, o que é importante para assegurar maior proteção térmica a produtos perecíveis, sobretudo, em casos de panes de energia elétrica.

Adicionalmente, verificou-se que o uso de cobertura térmica pode proporcionar, além de queda considerável no consumo de energia, redução de perda de alimentos e de custos de manutenção em geral.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a utilização de uma cobertura que comporte-se melhor como barreira às trocas de calor por radiação, reduzindo também esta componente da carga de resfriamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Roberto Lamberts do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo empréstimo dos equipamentos de medições.

REFERÊNCIAS

- Lamberts R., Dutra L. e Pereira F.O.R., Eficiência Energética na Arquitetura, PW Editora, São Paulo, 1997.
- Lamberts R., Thomé M., Lomardo L. and Mascarenhas A.C., Retrofit Demonstration in Brazilian Commercial and Public Buildings, ACEEE – Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 1998.
- Faramarzi R., 1999, Efficient Display Case Refrigeration, Practical Guide, ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering, pp.46-54.

ENERGY EVALUATION OF USING THERMAL COVERS ON OPEN REFRIGERATED DISPLAY CASES

Abstract. *This is a sensitivity study to analyze the influence of using thermal covers on the energy efficiency of open refrigerated display cases in supermarkets. The study was accomplished during the summer in the city of Joinville, and it was observed a significant reduction of electric energy waste, among other benefits.*

Keywords: *Energy economy, Commercial refrigeration, Energy efficiency in supermarkets*