

TERMOACUMULAÇÃO APLICADA A SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO.

¹Thiago Andreotti, aga5thi@hotmail.com

²Prof. Dr. Antonio João Diniz, Diniz@dem.feis.unesp.br

³Murilo Paulitsch Heule de Souza, murilo_phsouza@hotmail.com

¹Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Av. Brasil Centro, 56 – 15385-000, Ilha Solteira (SP) fone (18) 3743 1000

²Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Av. Brasil Centro, 56 – 15385-000, Ilha Solteira (SP) fone (18) 3743 1027

³Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Av. Brasil Centro, 56 – 15385-000, Ilha Solteira (SP) fone (18) 3743 1027

Resumo: Edificações comerciais brasileiras consomem aproximadamente 13% da energia total do país, sendo que a energia elétrica consumida com ar condicionado representa 20% do consumo médio, incluindo o setor comercial e serviços públicos. Além disso, no setor de serviços e em alguns estabelecimentos comerciais o consumo de ar condicionado pode representar cerca de 50% da energia consumida mensalmente (SEBRAE, 2002). Sistemas de ar condicionado central utilizando água gelada ou gelo são utilizados geralmente nas grandes instalações comerciais (e.g., shoppings centers, supermercados). Sistemas de armazenamento de energia têm sido utilizados freqüentemente nas grandes instalações comerciais, que apresentam cargas térmicas elevadas durante períodos coincidentes com o horário de pico das concessionárias de energia elétrica. Do ponto de vista do usuário a utilização do termo acumulação (i.e., armazenamento de energia) tem como objetivo principal reduzir os custos de energia elétrica, pois os preços das tarifas de demanda (kW) e consumo (kWh) são mais elevados durante o horário de pico que durante o horário fora de pico. Neste trabalho estuda-se o processo de refrigeração, para isso foi montado uma bancada experimental no Laboratório de Refrigeração e Ar Condicionado do Departamento de Engenharia Mecânica da Unesp/Ilha Solteira. O sistema de refrigeração emprega o refrigerante R-401A e é constituído por: um compressor alternativo, mecanismo de transmissão de torque, um condensador resfriado a ar, um evaporador, um dispositivo de expansão, um filtro secador, um reservatório de líquido, instrumentos para medições, um tanque de água e um dispositivo para gerar carga térmica para a acumulação de gelo ao sistema. Foi proposto ensaios com e sem termoacumulação para que seja possível comparar o COP do sistema funcionando de ambos os modos. Com os ensaios sem a acumulação de energia e com a acumulação de energia, realizados para um determinado período de funcionamento, será determinado experimentalmente qual o comportamento do sistema, qual a diferença obtida em termos de COP, e será estudada a redução do consumo de energia durante o horário de pico, permitindo assim, concluir sobre a efetividade do sistema em reduzir custos

Palavras-chave: Refrigeração, Termoacumulação

1. INTRODUÇÃO.

Este trabalho visa justificar a termoacumulação em sistemas de condicionamento de ar como uma ferramenta efetiva para redução de custos com o consumo de energia.

A termoacumulação é um sistema de produção de gelo ou água gelada em tanques, usados em sistemas de refrigeração. Com um sistema de termoacumulação pode-se conseguir vantagens como:

- Redução do tamanho do compressor e conseqüentemente do custo inicial do equipamento.
- Deslocamento da carga para fora do horário de pico do sistema.
- Redução da potência instalada, proporcionando um novo contrato de energia.
- Aproveitamento das diferentes modalidades de energia para reduzir o custo da energia.

Os objetivos deste trabalho são:

- Levantamento bibliográfico sobre sistemas de refrigeração.
- Levantamento bibliográfico sobre sistemas de termoacumulação.
- Construção de uma bancada de ensaio utilizando termo-acumulação para estudo do desempenho do sistema de refrigeração por expansão direta.

- Análise do COP do equipamento com e sem termoacumulação.
- Análise do consumo de energia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

A termoacumulação remonta aos tempos em que os blocos de gelos, cortados de superfícies congeladas de lagos, por exemplo, eram transportados e armazenados para posterior utilização, principalmente na conservação de alimentos.

Geralmente define-se a refrigeração como qualquer processo de remoção de calor. Mais especificamente, a refrigeração é definida como o ramo da ciência que trata dos processos de redução e conservação da temperatura de um espaço ou material, abaixo da temperatura do ambiente circundante. Para se conseguir este efeito, o calor deve ser removido do corpo que está sendo refrigerado e transferido para outro corpo, cuja temperatura esteja acima da do corpo refrigerado.

O coeficiente de eficácia ou ainda coeficiente de performance COP, é um parâmetro fundamental na análise de sistemas de refrigeração. Mesmo sendo de um ciclo teórico, pode-se verificar os parâmetros que influenciam o desempenho do sistema. A capacidade de retirar calor sobre a potência consumida pelo compressor deve ser a maior possível. Define-se COP pela Eq. (1).

$$COP = \frac{\dot{Q}_l}{\dot{W}_c} \quad (1).$$

COP – Coeficiente de performance.

\dot{Q}_l - Calor retirado pelo efeito de refrigeração.

\dot{W}_c - Potência consumida pelo sistema para produção do efeito frigorífico.

2.1 Tipos de Termoacumulação.

Diversos elementos têm sido pesquisados para atuarem como acumuladores de energia térmica na refrigeração. Para as baixas temperaturas requeridas em refrigeração comercial e industrial, placas contendo soluções eutéticas, gelo carbônico e a evaporação de nitrogênio liquefeito são comumente empregados. Contudo, na faixa de temperaturas utilizada em sistemas de condicionamento de ar, nenhum elemento supera a água, seja por suas propriedades térmicas favoráveis ou por sua disponibilidade.

Os sistemas de termoacumulação que utilizam água são de dois tipos básicos:

- estocagem de gelo, o equipamento frigorífico opera a temperatura abaixo de 0°C, produz gelo, o qual é estocado e mais tarde derretido para a recuperação da energia acumulada, ou seja, resfriando a água que atenderá os consumidores;
- estocagem de água gelada, sem mudança de fase, onde uma massa de água é utilizada para armazenar e ceder energia, neste caso, o equipamento de refrigeração opera como em um sistema convencional, ou seja, com temperatura superior a 0°C.

2.1.1 Termoacumulação com Gelo.

O sistema de armazenamento de gelo faz uso do calor latente de fusão da água (gelo), o calor requerido para a mudança do estado sólido para o líquido. A água tem o maior calor latente de fusão dos materiais comuns: 334kJ/kg no ponto de fusão ou congelamento de 0°C, conforme (Ashrae Applications, 2003).

Os equipamentos de refrigeração utilizados para produção de gelo operam em temperaturas de evaporação do refrigerante, em torno de -10°C, abaixo da faixa normal de operação das aplicações de ar condicionado com água gelada, que é por volta de 0°C. Justamente por isso, apresentam um rendimento relativo da ordem de 65%, em comparação quando fazendo água gelada.

Dependendo da tecnologia de produção de gelo utilizada, outros equipamentos especialmente desenvolvidos para fazerem gelo são necessários, sendo que algumas vezes os resfriadores normais (chillers standard) podem ser configurados para operarem a baixa temperatura imposta.

2.1.2 Termoacumulação com Água.

O sistema de armazenamento de água gelada faz uso da capacidade de calor sensível da água para estocagem de frio. O calor sensível refere-se a energia produzida pela mudança de temperatura de um agente térmico.

A água é utilizada pelo seu alto calor específico [4,18kJ/(kg.K)] em relação a outros materiais comuns, além de sua abundância (Ashrae Applications, 2003). A água gelada é geralmente gerada e armazenada em temperaturas entre 4,5 e 5,5°C. Estas temperaturas são compatíveis com os sistemas convencionais dos resfriadores de água e sistemas de distribuição. Como a diferença entre a água gelada que é introduzida no tanque e a água que retorna depois de atender a carga térmica é de, normalmente, 10K, cada quilograma de água estoca 41,8kJ, cerca de oito vezes menos que o gelo.

O custo inicial de um sistema que contemple a estocagem de água gelada é reduzido com o aumento da carga térmica que deve ser atendida, ou seja, a implantação do sistema com tanques de termoacumulação de água gelada acaba custando menos se comparado com um sistema sem termoacumulação, segundo (Andreport, 2004).

2.2 Análise dos Sistemas de Refrigeração.

A Figura (1) apresenta o diagrama Pressão-Entalpia dos ciclos de refrigeração utilizados em sistemas de ar condicionado do tipo expansão direta. O ciclo 1-2-3-4 refere-se ao ciclo padrão ideal, ou seja, sem tanque de gelo, enquanto o ciclo 1-2-3-3'-4' referem-se ao mesmo sistema, mas com a adição do tanque de gelo ao circuito de refrigeração, de forma que o mesmo possa promover o sub-resfriamento do refrigerante após este sair do condensador.

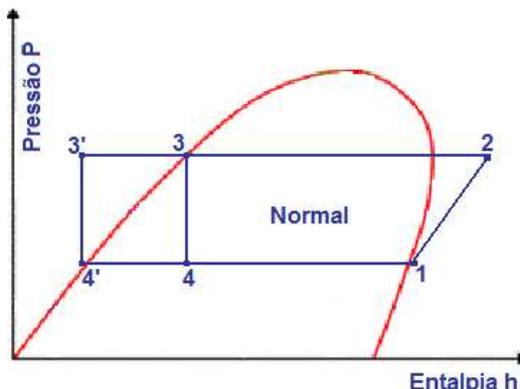


Figura 1. – Diagrama Pressão-Entalpia para ciclos normal e com termoacumulação.

Os processos dos ciclos 1-2-3-4 são os seguintes:

- 1-2 Compressão adiabática no compressor.
- 2-3 Processo de condensação,
- 3-4 Expansão adiabática na válvula de expansão
- 4-1 Evaporação do refrigerante no evaporador.

Os processos do ciclo 1-2-3-3'-4' são os seguintes:

- 1-2 Compressão adiabática no compressor.
- 2-3 Processo de condensação,
- 3-3' Refere-se ao processo de sub-resfriamento do líquido devido a sua circulação pelo tanque de gelo.
- 3'-4' Expansão adiabática na válvula de expansão
- 4'-1 Evaporação do refrigerante no evaporador.

Na Fig. (1) é possível perceber que o ciclo 1-2-3-3'-4' é mais eficiente, pois sua temperatura média de rejeição de calor para a fonte quente é inferior a aquela do ciclo padrão, promovendo um aumento do coeficiente de performance "COP". Este sub-resfriamento possibilita também uma redução da vazão mássica do refrigerante na entrada do evaporador.

2.3 COP com Termoacumulação.

Da Eq. (1) viu-se que o COP é dado pela razão entre a carga de refrigeração e a potência do compressor. Pode-se trabalhar com um COP diário, onde se considera valores acumulados diariamente. Desse modo, o COP diário é definido como a razão entre a carga de resfriamento produzida diariamente e a quantidade de energia consumida diariamente. O conceito de COP diário é interessante aqui, pois quando se trabalha com termoacumulação sempre se tem em mente a economia de energia em horários chave, nos quais, existe pico de consumo da energia. A Eq. (2) mostra como se calcula o COP diário.

$$COP_{diario} = \frac{Q_e N_d}{W_d N_d + W_n N_n} \quad (2).$$

Onde COP_{diario} é o coeficiente de performance diário, N_d é o número de horas de funcionamento do sistema de refrigeração, o período em que ocorre o condicionamento do espaço e descarregamento do tanque de gelo, N_n é o número de horas de funcionamento quando o sistema está formando o gelo. W_n é a potência de compressão consumida durante o período de formação do gelo. W_d é a potência de compressão consumida durante o período de condicionamento e queima de gelo e Q_e é a carga de refrigeração instantânea de resfriamento.

3. O EXPERIMENTO.

O experimento tenta simular um ambiente refrigerado de uma instalação comercial, com e sem o uso de termoacumulação. Para isso, construiu-se um ambiente dentro de uma caixa térmica, produzindo lá dentro os efeitos observados em instalações com sistema de ar condicionado. Para gerar o efeito de refrigeração instalou-se um evaporador dentro da caixa, juntamente com um dispositivo de ventilação. Em relação à carga térmica montou-se um

dispositivo de resistências em paralelo. Para simular a renovação de ar do ambiente trabalhou-se com coolers fixados na parede da caixa térmica.

A termoacumulação trabalhada aqui é a termoacumulação aplicada a sistemas de expansão direta. Desse modo, construiu-se um tanque de termoacumulação. O tanque trabalha com água. Durante o horário fora de pico esta água é refrigerada, período de acumulação de energia também chamado de ciclo de carga do sistema. Durante o horário de pico a água agora gelada absorve calor do refrigerante e é aquecida, período de queima da energia acumulada, também chamado de ciclo de descarga.

A Figura (2) mostra o equipamento utilizado para a realização do experimento.



Figura 2. Equipamento utilizado para a realização do experimento.

Para mudar o circuito de refrigeração, do modo de carga, para o modo de descarga, foram utilizadas válvulas do tipo diafragma de diâmetro nominal 3/8". Estas válvulas são indicadas para trabalhar com gás, provendo vedação adequada para o sistema e o seu acionamento é dado de forma manual.

A Figura (3) mostra um esquema do funcionamento do equipamento, indicando o percurso do refrigerante pelos equipamentos do sistema de refrigeração.

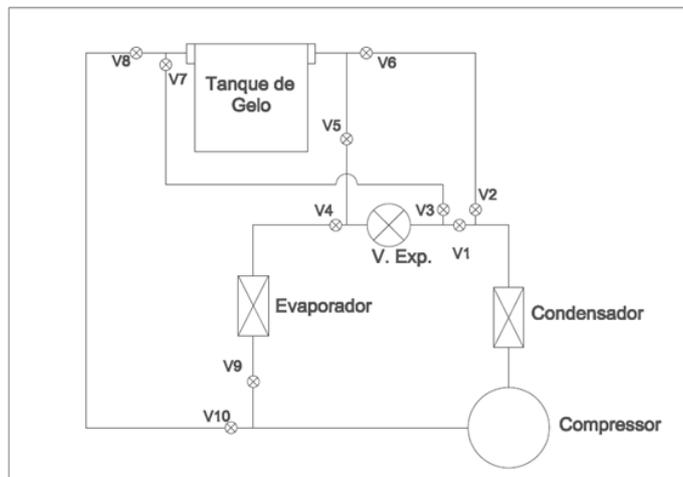


Figura 3. Fluxograma da linha de refrigeração.

Para o circuito de carga, as válvulas são manipuladas para o refrigerante produzir um efeito de refrigeração na água do tanque, desse modo, as válvulas estarão abertas ou fechadas conforme mostra a Fig. (4). Neste sistema o fluido refrigerante sofre a expansão antes de entrar no tanque de termoacumulação. Este processo, simula o período de baixa demanda de energia elétrica de um prédio. A linha em negrito na cor azul indica o percurso do refrigerante no sistema para a formação do gelo.

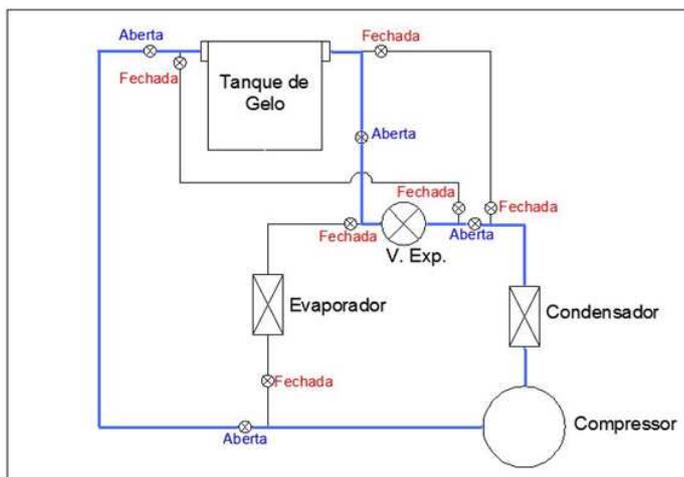


Figura 4. Circuito de carga.

Para o circuito de descarga, as válvulas estarão abertas ou fechadas de acordo com a Fig. (5). Neste circuito o fluido refrigerante passa pelo tanque, que contém água gelada, antes de sofrer a expansão, de modo que, este é parcialmente resfriado antes do processo de expansão.

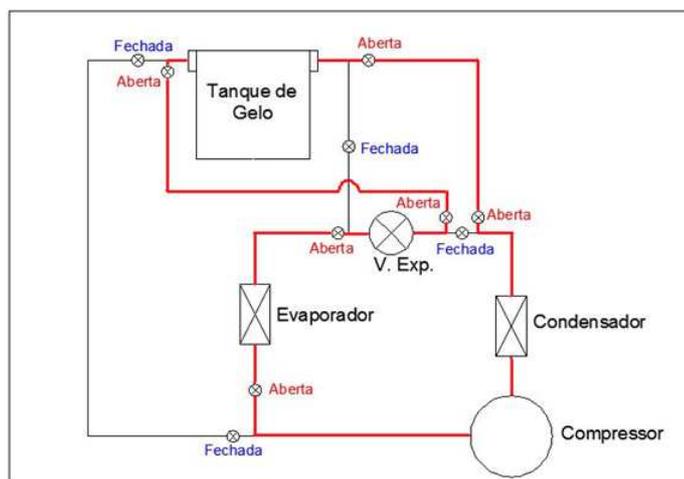


Figura 5. Circuito de descarga.

Para a realização do experimento foi considerado um período de tempo reduzido, que simula o período de um dia de 24 horas. Desse modo, realizou-se o experimento considerando um período de seis horas, sendo três horas representando o período diurno, e três horas representando o período noturno.

Para padronizar as condições de teste algumas medidas foram tomadas:

- Vazão constante de ar pelo caixa térmica que simula uma sala condicionada.
- Período de tempo de funcionamento fixo.
- Carga térmica constante ao longo do ensaio.
- Quantidade de água no tanque de termoacumulação constante.
- Temperatura ambiente em torno de 30 ± 1 °C.
- Válvula de expansão com regulação fixada.

Foram utilizados equipamentos de medições para determinação dos estados termodinâmico do ciclo. Utilizou-se de termopares e manômetros para determinar as propriedades do refrigerante. Foram utilizados outros instrumentos tais como termômetro, tacômetro, anemômetro, Wattímetro e multímetro, para medições de outros parâmetros não relacionados ao estado termodinâmico do refrigerante.

A bancada experimental utilizada neste experimento opera com fluido refrigerante R401A . O mesmo é fabricado pela DuPont e é conhecido comercialmente como MP39.

O motor utilizado nesse experimento é um motor monofásico, com potência nominal de meio cv. O condensador é do tipo a ar, o tanque de termoacumulação tem uma capacidade máxima de 150 litros de água e possui uma serpentina interna com $0,5 \text{ m}^2$ de área de troca térmica, O evaporador do sistema é uma serpentina de alumínio com $0,15 \text{ m}^2$. O compressor utilizado aqui é um compressor alternativo, acionado por meio de correias transmitindo a potência do motor

elétrico. A válvula de expansão utilizada é de regulagem manual, o objetivo deste equipamento é promover a expansão isentrópica, regular o fluxo de refrigerante e controlar o superaquecimento.

Foram realizados quatro ensaios:

- Ensaio 1: Funcionamento sem termoacumulação com carga térmica de 200 W.
- Ensaio 2: Funcionamento com termoacumulação com carga térmica de 200 W
- Ensaio 3: Funcionamento sem termoacumulação com carga térmica de 520 W.
- Ensaio 4: Funcionamento com termoacumulação com carga térmica de 520 W.

4. RESULTADOS.

O primeiro ensaio foi nomeado como ensaio um – carga térmica de 200 W, apesar de não se ter apenas 200 Watts sendo gerado na caixa térmica, esta é a potência gerada pelo dispositivo de carga ajustável, sendo assim, optou-se por essa nomenclatura que será adotada também, nos demais ensaios. As condições do primeiro ensaio são apresentadas a seguir:

- T ambiente $\approx 29 \pm 1$ °C
- Carga Térmica = 200 W
- Sem Termoacumulação.
- T. ambiente refrigerado $\approx 26 \pm 1$ °C.

Neste ensaio a evaporação do refrigerante ocorreu fora da caixa térmica, ou seja a carga térmica da lâmpada ajustada em 200W somada as cargas térmicas fixas não foram suficientes para garantir a evaporação total do refrigerante dentro do evaporador.

Com os dados do primeiro ensaio calculou-se o valor do COP do sistema em função da energia elétrica da rede e em função da potência do compressor, esses dados são apresentados na Tab. (1).

Tabela 1. Resultados do primeiro ensaio.

Dados	Valor
Δh compressor (kJ/Kg)	55
Δh evaporador (kJ/Kg)	170
Potência do motor (Watts)	450
eficiencia do motor-compressor	0,39
Potencia de compressão (Watts)	175,5
Vazão do refrigerante em massa.(kg/s)	0,003
QI (kiloWatts)	0,542
COP _{potência elétrica}	1,205
COP _{potência compressor}	3,091

No segundo ensaio realizou-se o funcionamento do equipamento, promovendo termoacumulação, foi acumulada água gelada para posterior utilização da energia. Ademais dos parâmetros referentes à termoacumulação, funcionou-se o equipamento com os mesmos ajustes do primeiro ensaio para possibilitar a comparação dos resultados.

As condições de realização do segundo ensaio são apresentadas a seguir:

- Produção de água fria $\Delta T = 30 - 5 = 25$.
- Acumulação de energia durante 3 horas.
- Consumo da energia até $T_{f_{\text{água}}} = T_{o_{\text{água}}}$.
- Tempo de ensaio gasto para queima ($T_{f_{\text{água}}} = T_{o_{\text{água}}}$): 2 horas e 20 minutos.
- Medidas dos parâmetros obtidas de 10 em 10 minutos.
- T. ambiente refrigerado $\approx 26 \pm 1$ °C.
- T. ambiente externo $\approx 29 \pm 1$ °C.

Assim como no caso do ensaio um, o ensaio dois, que apresenta a mesma carga térmica do um, apresentou evaporação fora da caixa do evaporador, fato agravado pelo ganho causado pela termoacumulação.

Inicialmente funcionou-se o sistema por três horas para realizar a produção de água gelada na caixa térmica. Durante esse período, acompanhou-se a evolução da queda de temperatura da água. Ao final do ciclo de carga, ajustou-se o equipamento para o ciclo de descarga, os dispositivos de carga térmica do volume de controle (caixa térmica) foram ligados e iniciou-se a utilização do efeito de acumulação da energia. Durante esse período, os dados foram obtidos periodicamente de dez em dez minutos. Com duas horas e vinte minutos de funcionamento, o sistema de água gelada atingiu a temperatura inicial, encerrando o efeito de refrigeração por termoacumulação.

As medições periódicas incluíram a potência elétrica da rede, as temperaturas e pressões do refrigerante no ciclo, a temperatura da água e a temperatura do ambiente refrigerado. Com estas informações obteve-se a potência do

compressor, a vazão mássica, a energia retirada devido à evaporação do refrigerante e a energia absorvida devido ao sub-resfriamento do refrigerante ao passar pelo tanque de água gelada.

Com os dados coletados pode se estudar um gráfico do comportamento do sistema com o passar do tempo. A Fig. (6) traz o gráfico obtido.

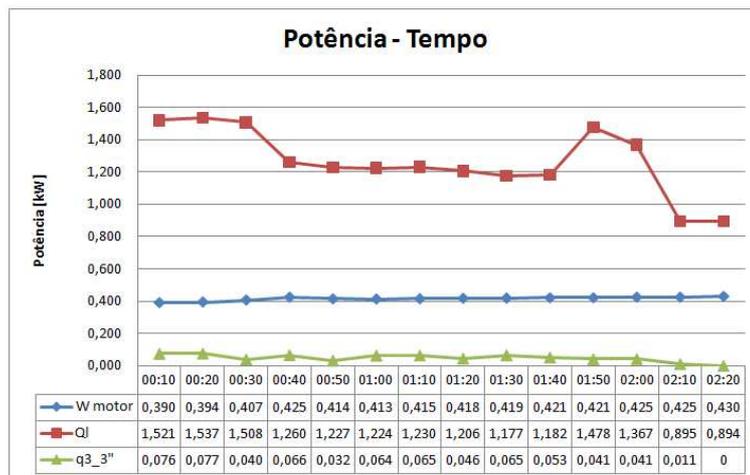


Figura 6. Gráfico das potências em relação ao tempo.

Com os resultados obtidos calculou-se o COP diário pela Eq. (2) e os COPs referentes ao período de carga e período de descarga, na média, pela Eq. (1). Estes dados são apresentados nas Tab. (2) e (3), onde se comparam os valores dos COPs do ensaio dois, ao COP do primeiro ensaio, sem termoacumulação.

Tabela 2. COP calculado em função da potência elétrica.

POTÊNCIA ELÉTRICA			
Nd (horas)	3	COP _{diário}	1,46
Nn (horas)	3	COP _{diurno}	3,04
Wn (kiloWatts)	0,450	COP _{noturno}	1,20
Wd (kiloWatts)	0,416	COP	1,20
Qe (kiloWatts)	1,265		

Tabela 3. COP calculado em função da potência do compressor.

POTÊNCIA COMPRESSOR			
Nd (horas)	3	COP _{diário}	3,75
Nn (horas)	3	COP _{diurno}	7,80
Wn (kiloWatts)	0,175	COP _{noturno}	3,09
Wd (kiloWatts)	0,162	COP	3,09
Qe (kiloWatts)	1,265		

O terceiro ensaio foi realizado para uma carga térmica de 520 watts, sem o uso da termoacumulação. As condições de ensaio são apresentadas a seguir:

- T ambiente $\approx 29 \pm 1$ °C
- Carga Térmica = 520 W
- Sem Termoacumulação.
- T. ambiente refrigerado $\approx 40 \pm 1$ °C.

Deste ensaio pode-se perceber que a carga térmica foi suficiente para garantir a evaporação ocorrendo dentro do evaporador e, portanto dentro da caixa térmica.

A grande diferença deste ensaio para os dois primeiros, além da carga térmica, é que foi percebida a necessidade de isolamento das tubulações de cobre, garantindo que os termopares não medissem temperaturas influenciadas fortemente pelo efeito da temperatura ambiente.

Com isso, obteve-se dados mais realistas quanto ao comportamento do compressor, que até então apresentava um funcionamento muito próximo ao isentrópico.

Por meio dos dados obtidos foram calculados os parâmetros do sistema. Estes dados são apresentados na Tab. (4).

Tabela 4. Resultados do terceiro ensaio.

Dados	Valor
Δh compressor (kJ/Kg)	45
Δh evaporador (kJ/Kg)	170
Potência do motor (Watts)	458
eficiencia do motor-compressor	0,39
Potencia de compressão (Watts)	178,6
Vazão do refrigerante em massa.(kg/s)	0,004
QI (kiloWatts)	0,675
COP _{potência elétrica}	1,473
COP _{potência compressor}	3,778

Assim como no ensaio dois, neste ensaio foi produzida água gelada durante três horas, até que se atingisse a temperatura de 5 °C. Foram mantidas as condições de carga térmica do terceiro ensaio para comparação de resultados.

As condições de realização do quarto ensaio são apresentadas a seguir.

- Produção de água fria $\Delta T = 30 - 5 = 25$.
- Acumulação de energia durante 3 horas.
- Consumo da energia até $T_{f_{\text{água}}} = T_{o_{\text{água}}}$.
- Tempo de ensaio gasto para queima ($T_{f_{\text{água}}} = T_{o_{\text{água}}}$): 3 horas.
- Medidas obtidas de 10 em 10 minutos.
- T. ambiente refrigerado = 37 ± 1 °C.
- Tubulação isolada termicamente.

Após a realização da acumulação de energia foi realizado o ensaio de consumo da energia acumulada, conforme os procedimentos acima citados. A Fig. (7) mostra a evolução das potências com o tempo, para o ultimo ensaio.

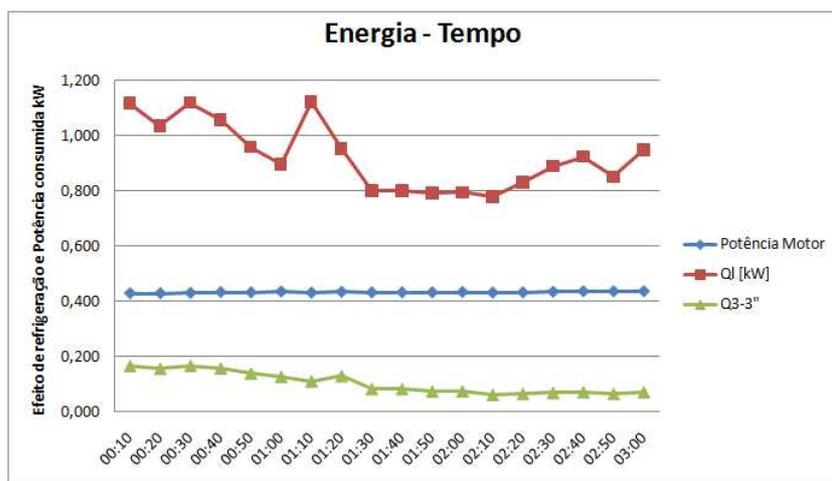


Figura 7. Gráfico das potências em relação ao tempo.

Com os resultados obtidos calculou-se o COP diário pela Eq. (2) e os COPs referentes ao período de carga e período de descarga, na média, pela Eq. (1). Estes dados são apresentados nas Tab. (5) e (6), onde se comparam os valores dos COPs do ensaio dois, ao COP do primeiro ensaio, sem termoacumulação.

A Tab. (5) traz os resultados em função da potência elétrica consumida da rede Elétrica. A Tab.(6) traz os resultados em função da potência consumida no compressor.

Tabela 5. COP calculado em função da potência elétrica.

POTÊNCIA ELÉTRICA			
Nd (horas)	3	COP _{diário}	1,04
Nn (horas)	3	COP _{diurno}	2,14
Wn (kiloWatts)	0,455	COP _{noturno}	1,32
Wd (kiloWatts)	0,434	COP	1,32
Qe (kiloWatts)	0,927		

Tabela 6. COP calculado em função da potência do compressor.

POTÊNCIA COMPRESSOR			
Nd (horas)	3	COP _{diário}	2,68
Nn (horas)	3	COP _{diurno}	5,48
Wn (kiloWatts)	0,177	COP _{noturno}	3,40
Wd (kiloWatts)	0,169	COP	3,40
Qe (kiloWatts)	0,927		

5. CONCLUSÕES

A realização da Termoacumulação no equipamento não mostrou resultados positivos para o COP diário do sistema. Para se conseguir algum efeito positivo seria necessário funcionar o sistema para acumulação com uma potência menor, que a utilizada durante o período de descarga. Produzindo assim, água gelada por um tempo de funcionamento maior que o tempo de funcionamento da descarga, tudo isso de forma balanceada para conseguir um alto valor do COP diário.

Conseguiu-se com a termoacumulação atender uma carga térmica maior que a carga nominal de ensaio. Além disso, foi deslocada a demanda energética da rede para fora do horário de pico, simulado, de uma quantidade de 5 a 10 % da demanda sem a termoacumulação.

A imprecisão nas medidas foi uma das principais dificuldades encontradas para análise dos resultados. Inicialmente tem-se a dificuldade relativa aos manômetros que sofrem com o fenômeno da vibração. Além disso, não há tomadas de pressão em vários pontos do sistema. Tudo isso, aumenta a necessidade de estimativas que acarretam em maior imprecisão do sistema.

Os termopares foram calibrados em banho térmico com temperatura controlada por termômetros de alta precisão. Porém, as medições foram realizadas nas paredes externas dos tubos de cobre. O ideal seria que os termopares estivessem imersos no escoamento. A falta de isolamento foi um dos fatores que influenciaram nas medições dos ensaios um e dois.

Outra dificuldade encontrada é a de se obter dados com precisão do diagrama pressão entalpia do refrigerante. O fabricante do refrigerante disponibiliza um software na internet, para cálculo das propriedades termodinâmicas, porém, como não se conseguiu compatibilidade entre os resultados do software e do diagrama, optou-se pelo uso do diagrama que é mais fácil de utilizar. O maior problema está na medição de propriedades na região de saturação, além de não se poder precisar as propriedades com exatidão, tem-se que, por ser uma mistura, o refrigerante não muda de fase a uma pressão constante, dificultando mais ainda as medições.

Finalmente, as dificuldades de medições seriam menores caso disponibilizássemos de um medidor de vazão. A existência de evaporação do refrigerante fora do evaporador é uma fonte de erro do sistema, pois assim, a carga dimensionada para a caixa térmica não era absorvida pelo evaporador, e ao mesmo tempo, a temperatura do ambiente controlado não se manteve em níveis desejados em termos de climatização.

Para melhor funcionamento do sistema propõe-se redimensionar o evaporador, de modo que este apresente uma maior capacidade de troca térmica. Para isso recomenda-se o aumento da área de troca, e a pintura da mesma na cor preta, para absorver melhor a radiação das lâmpadas.

6. AGRADECIMENTOS.

Agradecimento ao professor Doutor Cassio Roberto Macedo Maia pela sua dedicação e compromisso na ajuda aos autores da elaboração deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS

- ANDREPONT, J. S. Termoacumulação, artigo publicado na revista Climatização. São Paulo, Abril de 2004.
ASHRAE HANDBOOK APPLICATIONS (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta - USA, 2003.
SEBRAE, 2002, apostila “Guia de eficiência energética nas micro, pequenas e médias empresas”, Energia Brasil.

8. DIREITOS AUTORAIS

TERMOACUMULAÇÃO APLICADA A SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO.

¹Thiago Andreotti, aga5thi@hotmail.com

²Prof. Dr. Antonio João Diniz, Diniz@dem.feis.unesp.br

³Murilo Paulitsch Heule de Souza, murilo_phsouza@hotmail.com

¹Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Av. Brasil Centro, 56 – 15385-000, Ilha Solteira (SP) fone (18) 3743 1000

²Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Av. Brasil Centro, 56 – 15385-000, Ilha Solteira (SP) fone (18) 3743 1027

³Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Av. Brasil Centro, 56 – 15385-000, Ilha Solteira (SP) fone (18) 3743 1027

Resumo: *Brasilians comercial buildings consumes about 13% of the total energy of the country, and the electrical energy consumed with air conditioning represents 20% of the average consume, including both public and commercial installations. Besides, in some commercial establishments the consume of energy with air conditioning can represent about 50% of the monthly consumed energy. (SEBRAE, 2002). Central air conditioning systems, using either cooled water or ice are usually used in big commercial establishments (e.g., shoppings centers). Energy storage systems have often been used in the big commercial buildings that demands great amount of energy during the peak hours of energy consuming. At the standpoint of the user, the word accumulation means reducing the costs of the electrical energy consume, once the price of the energy is higher during the peak hours than in the hours out of the peak hours. In this paper the refrigeration process is studied, and a device was builded in the refrigeration and conditioning air laboratory in the mechanical engineering department of the university Unesp from Ilha Solteira city. The device uses the R401 refrigerant, and its components are: a compressor, a torque transmission mechanism, a condenser refrigerated by air, a evaporator, a expansion valve, a dryer filter, a liquid recipient for storing, measurement instruments, a water tank and a device to generate heat into the experiment. It was realized experiments with thermoaccumulation and without it, so it was possible to compare the efficiency of the device working in both ways. In both experiments, the period of time in which the device will work, will be the same, and it will be determined experimentally what is the behavior of the system and what is the difference obtained in terms of the efficiency. The reduction in the electrical energy consume, during the peak hour. With all that it will be possible to conclude about the capability of the device in reducing costs when working with thermoaccumulation.*

Palavras-chave: *Refrigeration, Thermoaccumulation.*

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.