

Racionalização da Curva de Demanda de Energia Elétrica em Sistemas de Ar Condicionado com Termo-Acumulação

L. A. B. Cortez; V. Silveira Jr.; L.C. Neves Filho; F.V. da Silva; M.R.A. Afonso;
S.B. Nunes; UNICAMP; R.M. Reis, CPFL

RESUMO

A tecnologia de “banco de gelo” é hoje extensivamente utilizada nos países desenvolvidos, particularmente onde há o interesse em atenuar a curva de demanda de energia elétrica, como é o caso em sistemas de ar condicionado centrais. Os bancos de gelo permitem que haja uma racionalização do consumo, atenuando os picos de demanda, deslocando-os para períodos de menor consumo, como o noturno. A atenuação da curva de demanda de energia elétrica pode ser promovida em qualquer tipo de unidades de termo-accumulação. Em vista das conveniências intrínsecas desta tecnologia, o desenvolvimento de sistemas de menores portes, tende a se justificar sua viabilidade econômica, porém atualmente não avaliada. Sendo assim, o trabalho consiste em mensurar as grandezas elétricas (Demanda e Consumo) na aplicação de conforto térmico de ambiente similar ao comercial em estratégias utilizando termo-accumulação sensível e latente.

PALAVRAS-CHAVE

Ar condicionado, Banco de água gelada, Banco de gelo, Racionalização de demanda elétrica. Termo-accumulação.

I. INTRODUÇÃO

A termo-accumulação para sistemas de ar condicionado proporciona a racionalização do consumo de energia elétrica, atenuando-o em horário comercial e picos de demanda, deslocando-o para períodos noturnos.

O consumo de energia elétrica em sistemas individuais de condicionamento de ar em ambientes comerciais é expressivo comparado ao consumo total (iluminação e máquinas para escritório).

A utilização destes sistemas de acondicionamento de ar, na sua grande maioria, é praticamente no horário comercial e diário.

Há, diariamente, as necessidades de acondicionamento de componentes fixos (ar, paredes e objetos) e variáveis (pessoas, infiltrações, transmissão, renovação de ar), que provocam uma concentração na utilização de energia elétrica

no período comercial, exigindo equipamentos de maior capacidade para suprir as necessidades em horário limitado. As eficiências energéticas do processo global não são medidas, apenas os equipamentos individuais possuem eficiências nominais.

Segundo as referências sobre termo-accumulação [1-20], são apresentadas as alternativas de aplicações da termo-accumulação (banco de gelo e banco de água gelada) enfocando estudos detalhados da transferência de calor nos diversos tipos construtivos e operacionais.

A. Justificativas

As aplicações dos bancos de gelo em sistemas de ar condicionado e na indústria de processamento com instalações que apresentam flutuações nas exigências de refrigeração, isto é, variações na carga de resfriamento durante um dia de trabalho oferecem várias vantagens tais como:

1. Redução dos picos de capacidades dos compressores para atender a necessidade de refrigeração;
2. Utilização das tarifas de energia elétrica fora dos horários de ponta;
3. Redução dos picos de demanda de eletricidade;
4. Simplificação do controle de capacidade do sistema de refrigeração;
5. Melhoramento do coeficiente de desempenho (COP) global com os compressores de refrigeração operando com 100% de carga na maior parte do tempo;

Projetado, selecionado e operando corretamente, o banco de gelo é capaz de suprir água resfriada com temperaturas satisfatórias para o tipo de aplicação específica como por exemplo, indústria de processamento e condicionamento ambiental.

B. Objetivos

Os objetivos globais desta pesquisa e desenvolvimento são de projetar, dimensionar, selecionar, montar e avaliar o desempenho dinâmico de um sistema central de ar condicionado com distribuição do fluido térmico por “fan coil” individuais para dois tipos de termo-accumuladores em três diferentes condições de operação, a fim de demonstrar o funcionamento, a eficiência energética e a possibilidade de racionalização da demanda elétrica com o deslocamento da operação de maior potência para horários fora de ponta.

Este trabalho foi apoiado pelo Programa de P&D da Companhia Piratininga de Força e Luz.

L. A. B. Cortez (cortez@reitoria.unicamp.br); V. Silveira Jr. (vivaldo@fea.unicamp.br); L.C. Neves Filho (neveslin@fea.unicamp.br); F.V. da Silva (flavio@fea.unicamp.br); M.R.A. Afonso (marcos@fea.unicamp.br); S.B. Nunes (silmar@fea.unicamp.br); trabalham na UNICAMP; R.M. Reis, trabalha na CPFL (rubenildo@piratininga.net)

Os objetivos são:

1. Especificar e caracterizar cenário de aplicação do sistema de ar condicionado central para um ambiente do tipo escritório, com a determinação da carga térmica;
2. Projetar um processo flexível de um sistema central de ar condicionado com distribuição do fluido térmico por “fan coil” individuais, a partir de um cenário de médio porte para:
 - dois tipos de termo-acumuladores (por banco de gelo e por banco de água gelada);
 - três diferentes condições de operação [a) 24h/dia compartilhado; b) operação apenas em horário noturno e c) operação apenas em horário comercial (convencional padrão)].
3. Projetar o sistema de Automação e Controle do sistema total em suas diferentes operações, a fim de monitorar variáveis de operação e grandezas elétricas para a avaliação do desempenho dinâmico do sistema;
4. Desenvolver unidades de termo-acumulação (bancos de gelo ou água gelada) para sistemas de ar condicionado centrais comerciais ou domésticos com distribuição de água gelada por “fan coil” individual, gerando tecnologia nacional, com a relação a carga térmica estimada do cenário eleito para a aplicação;
5. Demonstrar funcionamento e eficiência energética com redução do consumo de energia em horários comerciais e distribuição da capacidade diária para horários noturnos;
6. Determinar o melhor regime de operação com capacidade térmica compatível;
7. Avaliar a eficiência de dois processos de termo-acumulação: a) por banco de gelos e b) por banco de água gelada;
8. Demonstrar novas oportunidades de negócios que utilizam racionalmente a energia elétrica em sistemas de ar condicionados.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. Consumo de Energia por Setor

A refrigeração comercial e os sistemas de condicionamento de ambientes apresentam um grande consumo de energia elétrica, sendo, muitas vezes os vilões nas discussões sobre redução de consumo energético. Os sistemas de ar condicionado sempre aparecerem com destaque na lista de itens de consumo de um estabelecimento comercial ou mesmo financeiro.

Uma análise da evolução do consumo de energia elétrica no país nos últimos anos mostra uma evidência importante entre as categorias de consumo, a classe comercial é a que mais tem contribuído para a evolução do consumo (Figura 1).

A participação da classe comercial no consumo total de energia elétrica passou de 12% em 1990 para 16% em 2000. Além disso, o setor comercial é o que mais utiliza a energia elétrica como fonte primária de energia, chegando a 94% do consumo. O crescimento do consumo no setor comercial pode ser explicado, entre outros, pelos seguintes fatores:

- Aumento populacional e conseqüente aumento da demanda por bens e serviços;
- Modernização do setor como a informatização e aquisição de novos equipamentos;
- Terceirização de atividades antes desenvolvidas dentro das indústrias;
- Ampliação do horário de funcionamento do comércio;
- Crescimento do número de shopping centers, centros comerciais e hipermercados;

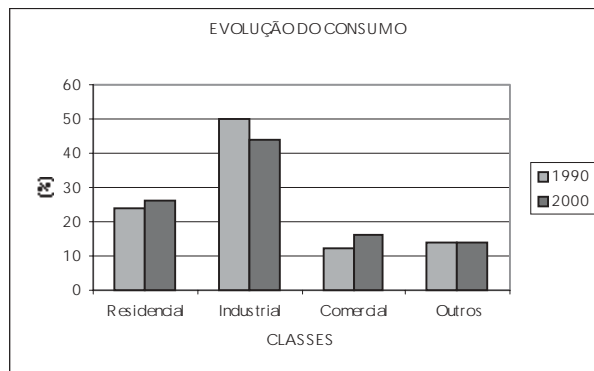


FIGURA 1 - Evolução do consumo energético no Brasil por classes de consumo.

Dentro da classe comercial, o varejo responde por 22,5% do total do consumo da energia elétrica, sendo importante destacar a participação dos “shopping centers” e hipermercados nesse setor; prédios comerciais e entidades financeiras representam um outro setor dentro da classe comercial com consumo de 24,6% do total. A Tabela 1 apresenta a estrutura de consumo da classe comercial.

TABELA 1
Estrutura de Consumo da Classe Comercial

SETOR	(%)
Transportes	3,5
Comércio Atacadista	4,0
Comunicações	5,6
Entidades Financeiras	12,2
Prédios Comerciais	12,4
Hotéis e Restaurantes	13,4
Varejo	22,5
Outros (portos, hospitais, etc)	26,4

Como um exemplo típico do setor comercial, os shopping centers possuem, segundo a ABRASCE (Associação Brasileira de Shopping Centers), um consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento do ar ambiente na faixa de 30% a 50% do total consumido, valores que concordam com os do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) indicando 40% do total consumido para o condicionamento do ar e a refrigeração. Também segundo a ABRASCE, os “shopping centers” são responsáveis por cerca de 17% do consumo de energia elétrica do segmento varejista, apresentam ainda uma taxa de crescimento de consumo elétrico de 20% ao ano. Ainda

nesse segmento, deve-se ressaltar que, comparando com países desenvolvidos, onde cerca de 50% das compras em média são realizadas dentro destes estabelecimentos, no Brasil esta participação chega a 18%, evidenciando assim a possibilidade de crescimento do setor. Os hipermercados apresentam características muito semelhantes aos shopping centers inclusive no crescimento do número de estabelecimentos, sendo assim, importantes consumidores de energia elétrica.

Outros dois importantes exemplos dentro da economia nacional são os prédios financeiros e os comerciais que juntos representam outra grande parcela do consumo de energia elétrica no setor comercial, cerca de 24,6% do total. O condicionamento do ar interior nesses tipos de prédios é responsável por cerca de 35% do total consumido da energia elétrica.

Todos os exemplos citados possuem a característica de grandes consumidores de energia elétrica, onde grande parcela desse consumo é comprometida pelos sistemas de condicionamento de ar. Um crescimento nesses segmentos, seja em número de estabelecimentos ou uma ampliação de espaço, certamente demandará um consumo maior de energia elétrica exigindo inclusive, investimentos no setor de distribuição de energia elétrica por parte das concessionárias.

A situação torna-se ainda mais crítica quando se analisa a representatividade do consumo dos sistemas de ar condicionado na demanda de ponta desses estabelecimentos, chegando a atingir, em muitos casos, mais de 50% do total. Dessa forma são necessárias grandes disponibilidades de potências das concessionárias nos horários de ponta.

O uso de sistemas de ar condicionado com termoacumulação pode atenuar essa demanda de ponta, o que reduziria a necessidade contratual de grandes potências disponíveis por parte das concessionárias, deslocando o consumo para os períodos fora de ponta.

Nos últimos anos um grande número de aplicações foram desenvolvidas para o uso no processamento, distribuição e armazenamento de alimentos envolvendo pequenas e grandes instalações de resfriamento.

Durante décadas, a água resfriada tem sido utilizada na indústria de laticínios para resfriar leite, creme, misturas para sorvetes e iogurtes, etc. O processo usualmente ocorre em trocadores de calor de aço inoxidável com o produto escoando em contracorrente com a água resfriada que é o agente de resfriamento.

A água resfriada de temperatura satisfatória pode ser produzida de várias maneiras. Trocadores de calor com a água escoando por gravidade sobre tubos ou placas tem sido os mais utilizados. Temperaturas de saída de 0,5 a 1,0 °C são possíveis de serem obtidas a partir destes trocadores e este é um nível satisfatório para um grande número de aplicações. Para isto os trocadores devem ser projetados para encontrarem a demanda da carga de refrigeração durante todo o período de funcionamento.

Recentemente, um conceito tem levado a inúmeras experiências e vem recebendo uma atenção crescente que é o conceito do distrito de resfriamento. Embora não seja uma novidade, este tipo de sistema tem sido estimulado no contexto da refrigeração por dois aspectos principais:

- O problema da destruição da camada de ozônio: a regulamentação através de protocolos que determinam os prazos para a eliminação e futura padronização de CFC's alternativos torna o resfriamento proveniente de fontes externas uma tendência atrativa para a reconstrução ou substituição de grandes sistemas de refrigeração, com a concentração do gás refrigerante em um distrito compacto de resfriamento.
- Termoacumulação: Outro fator de grande investigação com crescimento constante, sobretudo na última década, é o armazenamento de energia térmica, sendo os seus objetivos mais diretamente relacionados aos aspectos econômicos referentes aos custos de energia.

A maioria das concessionárias de energia elétrica tem uma estrutura variável com relação aos preços da energia elétrica, os quais variam de acordo com o horário de fornecimento, estação do ano e os diferentes setores de consumo: residência, comércio, ou indústria. Também, o ajuste do consumo *versus* produção de energia elétrica tem sido um dilema por parte das concessionárias de energia elétrica. O uso da armazenagem térmica, como por exemplo, os bancos de gelo se apresentam como alternativas, com a finalidade de equilibrarem estas diferenças.

Os acumuladores de "frio" ou bancos de gelo são equipamentos com elevada capacidade de armazenamento de energia, possível pela mudança de fase que sofre a água ou material de mudança de fase (phase change materials - pcm's). Portanto define-se bancos de gelo como equipamentos que armazenam energia como calor latente, a baixas temperaturas. O objetivo destes equipamentos é aliviar os efeitos dos picos de energia elétrica, que são períodos de tempo críticos no fornecimento de energia elétrica [11-12].

Estes equipamentos são constituídos por vários componentes que podem ser distribuídos em subsistemas [15-16], os quais são:

1. Circuito de refrigeração;
2. Circuito do fluido de transporte;
3. Componentes de controle;
4. Componentes miscelâneos.

A energia é armazenada no material de mudança de fase (pcm) que para o banco de gelo é a água. A transferência da energia do material de fase é obtida com a circulação de um fluido de trabalho. Durante o período de carga do acumulador é utilizado o circuito de refrigeração. Um perfeito funcionamento do equipamento e a coordenação exata entre os componentes é obtido com sistemas de controle adequado.

Os “horários de ponta”, compreendem o horário comercial durante a semana de trabalho normal por poucas horas durante o dia. A demanda de energia elétrica aumenta de forma diferenciada de acordo com a estação do ano se elevando em um nível muito mais alto durante o verão. A produção de energia elétrica é muito grande durante estes períodos se tornando sub utilizada no restante do tempo durante um dia. Nos EUA [4], as tarifas fora do horário de ponta são um incentivo para os consumidores de energia elétrica, uma vez que descontos de até 30% podem ser conseguidos em relação as tarifas cobradas nos horários de ponta.

O armazenamento de energia térmica é um setor muito beneficiado por este tipo de estrutura tarifária de consumo de energia elétrica. Os bancos de gelo são equipamentos que, nos horários fora de ponta, armazenam a energia como frio para depois liberá-las nos horários de ponta. Desta forma é diminuída a potência máxima instalada com conseqüente melhoramento na eficiência da instalação, diminuição dos custos e principalmente a manutenção da sua eficácia.

A combinação do armazenamento de energia térmica com o distrito de resfriamento é uma fusão natural levando à vantagem dos benefícios econômicos de ambos. Assim os objetivos indiretos para trabalhos paralelos, também podem ser:

1. Monitoração dos parâmetros interrelacionados referentes a transferência de calor nos vários equipamentos constituintes do sistema, torre de resfriamento e trocadores de calor que compreendem o condensador, resfriador e evaporador (banco de gelo); consumo de energia dos vários componentes do sistema; carga de refrigeração para a aplicação; variações das condições operacionais do sistema e condições ambientais como por exemplo temperatura e umidade relativa.
2. Estabelecer o período ideal de funcionamento e os custos relativos ao consumo de energia baseado na diferenciação tarifária no fornecimento de energia elétrica existente entre o período diurno e noturno (dentro e fora do horário de ponta).
3. Avaliar os benefícios do armazenamento térmico em bancos de gelo e o seu uso durante o período de ponta.

B. ESTRUTURA TARIFÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

A conservação de energia elétrica nos horários de ponta não recebia atenção e era pouco estudada até recentemente. Os picos de demanda no fornecimento de energia elétrica são importantes porque as concessionárias para atenderem o aumento da demanda nos horários de ponta, são obrigadas a novos investimentos na capacidade de geração e distribuição ou obterem eletricidade de concessionárias vizinhas.

Promover estratégias gerenciais que reduzam a utilização da eletricidade nos horários de ponta de demanda

tem sido o objetivo do setor elétrico. Estas estratégias são baseadas em incentivos aos consumidores para utilizarem suas cargas em um período fora do horário de ponta através da imposição de uma estrutura tarifária diferenciada sendo as taxas mais altas aplicadas durante os horários de ponta.

Os gráficos da Figura 2 se referem a demanda de energia durante um dia da semana do mês de setembro no estado de São Paulo, onde se pode observar os horários em que são registradas a demanda máxima de carga com o valor maior em torno de 19:00 horas.

Uma abordagem da estrutura tarifária pode levar a melhor compreensão dos reflexos na elaboração de um projeto e direcioná-lo ao estudo de formas de aproveitamento de energia, como por exemplo para o caso de sistemas de refrigeração em questão, a exploração do potencial de termoacumulação, o aproveitamento da água de condensação para aquecimento, o uso de bombas de calor e sistemas de cogeração.

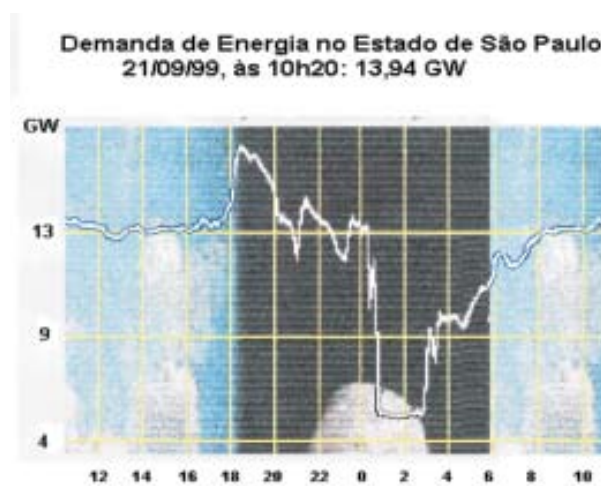


FIGURA 2 - Histórico diário da demanda de energia no estado de São Paulo durante o dia 21/09/99. Fonte: Companhia de Transmissão de Energia Elétrica de São Paulo.

A Figura 2 apresenta tarifas recentes constantes para o fornecimento de energia elétrica efetuado a consumidores finais pela Companhia de Força e Luz do Estado de São Paulo (CPFL).

C. Viabilidade Econômica

A racionalização do consumo de energia elétrica é um dos princípios da aplicação da termo-acumulação em sistemas de ar condicionado. Esta racionalização é inestimável e inquestionável no ponto de vista de viabilidade econômica, pois incluem diversos aspectos físicos e operacionais relativos ao “alívio” da rede elétrica e melhor distribuição horária do consumo.

Alguns pontos econômicos viáveis são listados a seguir:

- A potência elétrica e a capacidade de sistemas de ar condicionado convencionais (centrais ou individuais) são dimensionados para condições máximas de operação, ou seja em condições de “pico”. Assim os sistemas estariam super-dimensionados em cargas térmicas parciais. Normalmente, o conforto térmico ambiente é exigido em áreas comerciais, cujo funcionamento ocorre em horário concentrado de 8 a 10 horas por dia (por exemplo, horário comercial das 8:00 às 18:00 h);
- Para uma mesma demanda térmica da aplicação de acondicionamento de ambiente, singularmente, ter-se-ia necessidades de cerca de metades da potência elétrica ou da capacidade do equipamento, se estes instalações operassem o dobro de horas (por exemplo de 20 a 24 horas), consumindo aproximadamente a mesma energia elétrica;
- Apenas a transferência do horário de operação total (de diurno para noturno) não reduziriam as capacidades dos equipamentos ou na potência consumida, porém tem-se as vantagens paralelas, tais como a tarifação diferenciada; ganhos de escala em investimentos fixo e variável (equipamentos centrais) e alívio na rede elétrica em horário diurno;
- No ponto de vista construtivo e operacional de sistemas de refrigeração para acondicionamento de ambiente com termo-acumulação, tem-se diversas vantagens termodinâmicas para atender a mesma carga térmica (ou frigorífica). A redução da temperatura de condensação do refrigerante primário, devido ao meio de troca térmica externo possuir menor temperatura (por exemplo: ar ambiente noturno), promove uma maior capacidade frigorífica do sistema de refrigeração, possibilitando uma redução do consumo total de energia. Porém esta aplicação de termo-acumulação necessita que a temperatura de evaporação do refrigerante primário seja menor, promovendo desvantagens termodinâmicas e operacionais simétricas, porém não superiores às vantagens do caso de redução da temperatura de condensação. Sendo assim pode-se aproximar que as reduções da potência e do consumo de energia destes sistemas de termo-acumulação possuem viabilidade econômica estimável para uma mesma demanda térmica necessária.

D. Cenário de Desenvolvimento

O trabalho apresenta uma proposição de montagem, instrumentação e testes de eficiência de termo-acumuladores e suas aplicações em sistemas centrais de ar condicionado para distribuição de água gelada em um cenário pré-estipulado para simulação de diversos ambientes do tipo escritório, estocando energia a baixa temperatura, a fim de avaliar a racionalização da utilização da demanda de energia elétrica.

Para este estudo, projetou-se um sistema central de ar condicionado, versátil para aplicação de dois tipos de unidades de termo-acumulação, em condições sensíveis (banco de água gelada) e latente (banco de gelo), para um cenário de porte médio, no caso o Lab. de Automação e Controle de Proc. de Alimentos (LACPA) da UNICAMP. O sistema projetado é apresentado na Figura 3.

A partir das características físicas do cenário eleito, obteve-se o cálculo da carga térmica necessária para a manutenção das condições de conforto térmico para o dimensionamento do sistema global (sistema de refrigeração central e os termo-acumuladores) de maneira flexível para as diferentes aplicações propostas.

Uma vez dimensionado a arquitetura do sistema global de termo-acumulação, a necessidade de avaliar o desempenho dinâmico deste processo, quanto às condições operacionais e de consumo, projetou-se o sistema de monitoração e controle, a fim de obter dados (variáveis de processos e grandezas elétricas) e flexibilizar a operação de forma automatizada.

E. Estratégias operacionais

As estratégias operacionais são frequentemente classificadas como armazenamento total ou armazenamento parcial. Estes termos referem-se à quantidade de carga de resfriamento do horário de ponta que é transferida para o horário fora de ponta. Estas estratégias são esquematizadas na Figura 4.

F. Justificativas para o uso da termo-acumulação

A termo-acumulação pode ser atrativa economicamente em sistemas que apresentem cargas, aquecimento ou resfriamento, em ciclos e também se uma ou mais das condições abaixo for satisfeita:

- Cargas de curta duração (horas);
- A horário da ocorrência das cargas não combina com a disponibilidade das fontes de energia;
- O custo da energia varia com o horário;
- Quando há incentivos para a redução ou deslocamento de cargas;
- O fornecimento de energia da concessionária é insuficiente ou limita os sistemas de refrigeração;

Com o uso de termo-acumulação é possível deslocar a carga do horário de ponta, que pode ser suprida pelo “frio” estocado no tanque de termo-acumulação. Com isso, desligam-se os equipamentos que mais demandam potência em um sistema de refrigeração ou de ar condicionado, tais como, compressores e bombas.

Outro fator importante é a redução da capacidade de equipamentos, tais como, compressores, bombas e torres de resfriamento (condensadores) quan-

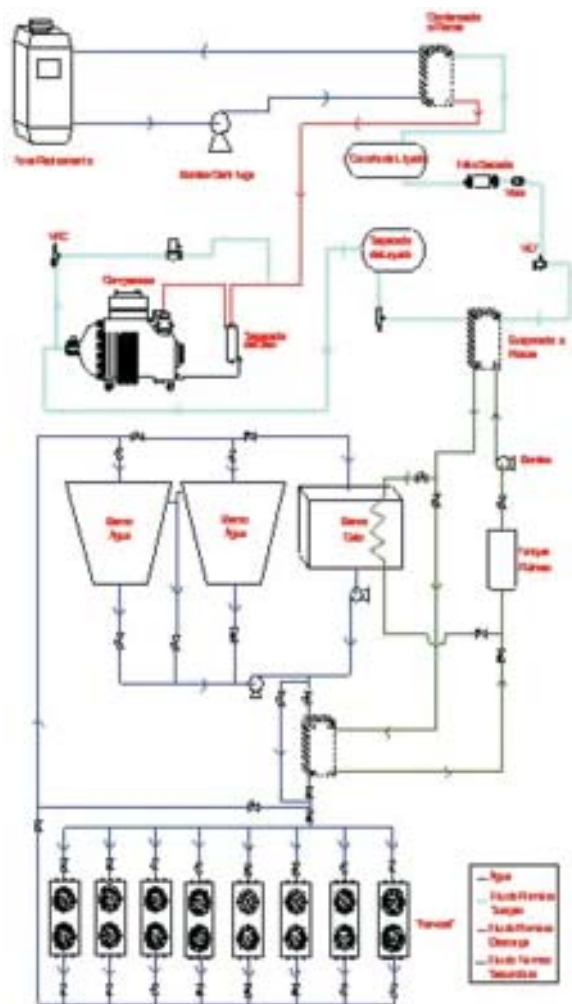


FIGURA 3 - Sistema central de distribuição de água gelada de 2 termo-accumuladores (sensível e latente).

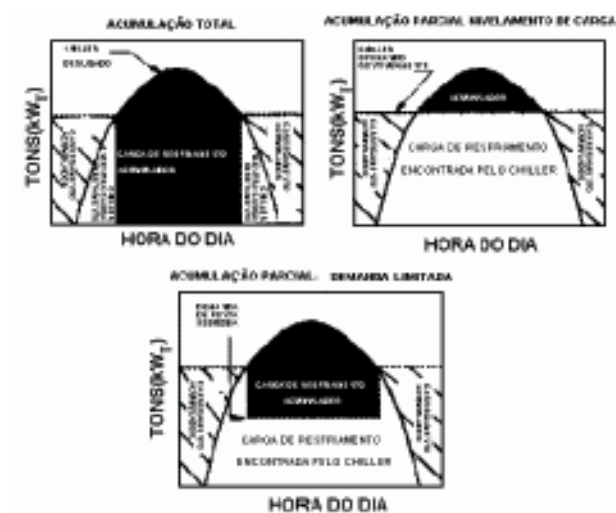


FIGURA 4 - Estratégias operacionais básicas da termoacumulação com bancos de gelo.

do se utiliza termo-accumulação. Com isso, seriam reduzidos os custos de demanda contratada de energia elétrica. Quando se reduz a demanda elétrica necessária deve-se perceber também uma economia na instalação de outros equipamentos como cabos elétricos, transformadores e painéis.

O atrativo para o uso da termo-accumulação está sem

dúvida, na economia com os gastos de energia elétrica, devido a redução de demanda contratada e deslocamento de cargas durante o período de ponta. Também se deve levar em conta a possibilidade de uma redução do investimento inicial de um projeto desse tipo usando-se termo-accumulação, seja pela redução da capacidade dos equipamentos e periféricos, ou por um eventual incentivo financeiro da concessionária local.

Um incentivo financeiro por parte das concessionárias é vantajoso para ambas as partes interessadas, pois o kW economizado com a termo-accumulação sairia bem mais barato do que o kW ampliado com o investimento em geração, transporte e distribuição.

III. RESULTADOS PARCIAIS

A. Cálculo das Cargas Térmicas Parciais e Total

O cenário eleito consiste em sete ambientes independentes para aplicação do sistema de ar condicionado, os quais foram nomeados como áreas A1, A2, A3, A4, A5, A6 e A7.

As características físicas de cada área foram utilizadas para o cálculo da carga térmica de cada uma das áreas eleitas, ou seja, as Cargas Térmicas Parciais.

Este cálculo foi efetuado segundo a norma NBR 5410, a partir de uma planilha para Cálculo Simplificado de Carga Térmica, elaborada pelo Laboratório de Informática nº 2 - DeTec (Responsável: Prof. Martinelli, CREA - MG nº 57.369).

Na Tabela II são apresentados os valores de carga térmica calculados em kW e em TR, referentes às fontes de calor de cada área em estudo (Cargas Térmicas Parciais), juntamente com a somatória de cargas para cada uma das áreas, ou seja, a Carga Térmica Total. Assim, com os valores de carga térmica parcial para cada área define-se o número e a capacidade dos "fan-coils" a serem requeridos, bem como a capacidade global do sistema central de refrigeração.

TABELA 2

Cargas térmicas calculadas para cada área (Cargas Parciais) e para a área total de estudo (Carga Total).

Áreas	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Total de
Total (TR)	2,2	5,0	1,1	1,1	0,7	1,1	0,8	12,0
Total (kW)	7,6	17,5	4,0	4,0	2,4	4,0	2,7	42,1

B. Exemplo dos futuros resultados

Um exemplo dos futuros resultados com relação a utilização das estratégias propostas pode ser visto na Figura 5. Três sistemas foram projetados para o condicionamento de ar de um prédio de 9000 m² e com uma carga térmica total de 22 GJ/h (6120 kW).

O primeiro sistema projetado foi o convencional com um chiller capaz de suprir os 660 kW necessários no pico, dentro do horário de ponta. Esse sistema acarretaria um alto custo operacional devido ao grande gasto com energia elétrica no horário de ponta, conforme mostrado Figura 5, gráfico A.

No segundo sistema foi projetado um sistema de termo-acumulação com carga parcial. Nesse caso foi dimensionado um chiller de 255 kW. No horário de ponta, parte da carga é suprida pela termo-acumulação (3060 kWh) o restante pelo chiller, conforme mostrado na Figura 5, gráfico B.

Na terceira situação foi projetado um sistema de termo-acumulação com carga total. Nessa situação a carga necessária no horário de ponta é total suprida pelo sistema de termo-acumulação (6480 kWh) e o chiller necessário foi de 360 kW, conforme mostrado na Figura 5, gráfico C.

Os custos envolvidos em cada projeto podem depender dos fabricantes de equipamentos e uma análise econômica irá depender dos tipos e condições de financiamento. Quanto ao custo da energia elétrica basta considerar cada período de consumo com a taxa específica associada (tarifa verde, azul, fora de ponta ou ponta).

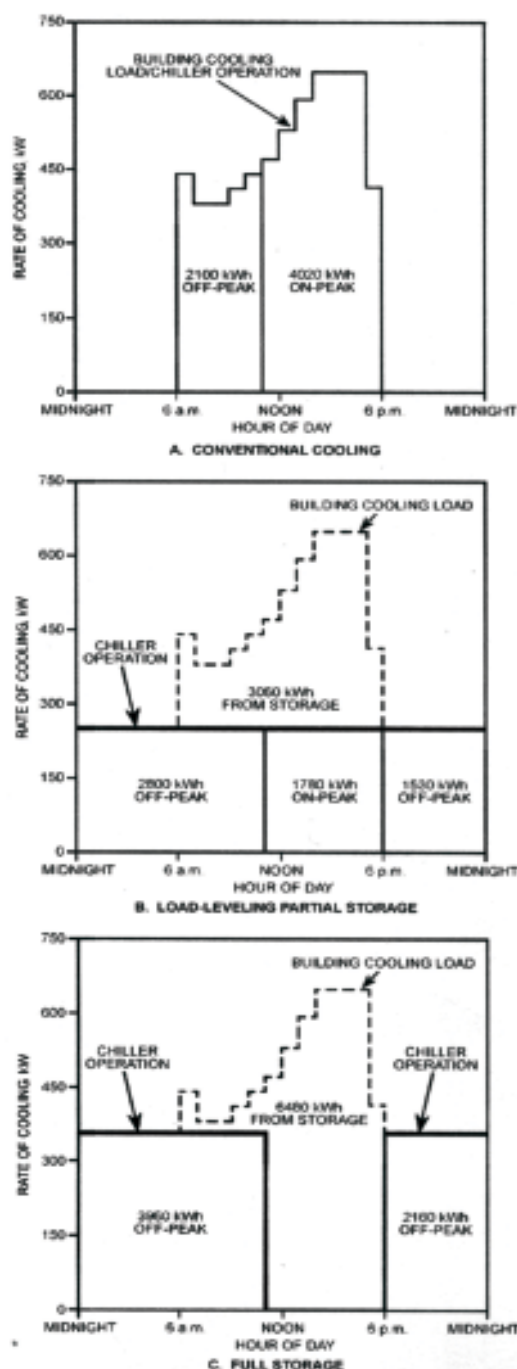


FIGURA 7 - Perfil da carga de um prédio com sistema convencional e termo-acumulação total e parcial.

IV. CONCLUSÕES

Os resultados indicarão a viabilidade da utilização de termo-acumuladores para racionalização do uso da demanda elétrica, deslocando-a para o período noturno, porém utilizando a mesma ou maior consumo de energia.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CPFL e ANEEL pelo desenvolvimento do projeto P&D.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASHRAE Handbook – Applications 2002 – Thermal Storage.
- [2] J. B. L. Azevedo; Consumo de energia Elétrica da Classe Comercial Caracterização e Metodologia. XVI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia elétrica, Outubro, 2001.
- [3] J. E. A. Braun, comparison of chiller-priority, storage-priority and optimal control of an ice-storage system. *ASHRAE Transactions*, v.98, n.1, pp.893-902, 1992.
- [4] R.A Cole. “New Applications of ammonia refrigeration in the United States”, *Proc. I Workshop de Refrigeração*, São Paulo, sep. 24-25, 1997.
- [5] C. E. Dorgan e J. S. Elleson. “Design guide for cool thermal storage”. Atlanta, Georgia: *ASHRAE Inc.*, 1994.
- [6] J. C. Felamingo; “Termo-acumulação em Ar condicionado e Refrigeração”, *ABRAVA*, SINDRATAR, Junho 2002.
- [7] P.E. Grumman and A.S. Butkus. “The ice storage option”; *ASHRAE Journal*, v.30, n.5, pp.20-26, 1988.
- [8] R. G. Hallak; “O ar condicionado e sua conta de energia elétrica”. *Revista Abrava*, set/out, pp.29-33, 1996.
- [9] S. M. Hasnain “Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part II: cool thermal storage”. *Energy Conversion and Management International Journal*, v.39, n.11, pp.1139-1153, 1998.
- [10] G. P. Henze and M. Krarti “Ice storage system controls for the reduction of operating cost and energy use”. *Journal of Solar Energy Engineering*, v.120, n.11, pp.275-281, 1998.
- [11] K. A. R. Ismail *Modelagem de processos térmicos: fusão e solidificação*. Campinas: Unicamp, 1998a. 400p
- [12] K. A. R. Ismail *Bancos de gelo: fundamentos e modelagem*. Campinas: Unicamp, 1998b. 400p
- [13] T.B. Jekel; J.D. Mitchell and S.A. Klein “Modeling of ice storage tanks”. *ASHRAE Transactions*, v.99, n.1, pp.1016-1048, 1993.
- [14] S. Jensen. “Ice accumulation tanks”. *Australian Refrigeration, Air Conditioning and Heating*, n.12, pp.22-26, 1986.
- [15] S.C. Silver; J. W. Jones; P.E. Peterson and B. D. Hunn. “CBS/ICE: A computer program for simulation of ice storage system”. *ASHRAE Transactions*, v.95, n.1, pp.1206-1213, 1989 a .
- [16] S.C. Silver; J. W. Jones; P.E. Peterson and B. D. Hunn. “CBS/ICE: A Component models for computer simulation of ice storage system”. *ASHRAE Transactions*, v.95, n.1, pp.1214-1226, 1989 b .
- [17] B. Silveti; “Application Fundamentals of Ice-Based Thermal Storage”, *ASHRAE Journal*, Fevereiro, 2002.
- [18] B. Silveti; M. MacCracken, “Thermal Storage and Derogulation”, *ASHRAE Journal*, Abril, 1998.
- [19] P. E. Spethmann “Optimal control for cool storage”. *ASHRAE, Transactions*, v.95, n.1, pp.1189-1193, 1989.
- [20] J.V.C. Vargas and A. Bejan. “Fundamentals of ice making by convection cooling followed by contact melting”. *International Journal of Heat Mass Transfer*, v.38, n.15, pp.2833-2841, 1995.