



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

**VIIELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

## MÉTODO PARA ESTIMAR O USO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA COM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

**José Francisco Campos Moreira (1); EneDir Ghisi (2)**

(1) MSc, Engenheiro Eletricista, Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Belo Horizonte/MG, [jfcm@uai.com.br](mailto:jfcm@uai.com.br)

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, [enedir@labeee.ufsc.br](mailto:enedir@labeee.ufsc.br)

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis - SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5536

### RESUMO

O setor público brasileiro tem uma alta dependência de energia elétrica, representando cerca de 85% de todos os recursos energéticos utilizados por este setor, o qual tem no sistema de ar condicionado o principal uso final da eletricidade, responsável por aproximadamente 48% do consumo. O objetivo deste trabalho é propor um método para estimar o uso final de energia elétrica em sistemas de ar condicionado. O método proposto foi aplicado no Hospital Público Regional de Betim, em Minas Gerais. Baseia-se na obtenção do consumo a partir de amostras de medições realizadas durante sete dias representativos do período mais quente do ano e de sete dias representativos do período mais frio. Uma comparação da temperatura do ar externo com o consumo total do hospital e também com o consumo específico do sistema de ar condicionado apontou correlações satisfatórias em ambos os casos, o que permitiu simplificar a estimativa do uso final do referido sistema. Ratificou-se que o sistema de condicionamento de ar do citado hospital representa o mais significativo uso final de energia elétrica, atingindo 31,9% do consumo total do estabelecimento. Concluiu-se que as variações da temperatura média do ambiente externo impactam diretamente no consumo do sistema de ar condicionado. Como os demais sistemas existentes não dependem da temperatura, ou seja, têm uma demanda de energia homogênea, deduz-se que as variações que ocorrem ao longo do ano no consumo total de energia elétrica do hospital podem ser explicadas pelas variações da temperatura média do ar externo. Desta forma pode-se afirmar que o método proposto é adequado para a realização de estimativas de consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado.

Palavras-chave: Sistema de ar condicionado, hospital, uso final de energia elétrica.

### ABSTRACT

The Brazilian public sector is highly dependent on electricity, which represents approximately 85% of all energy resources consumed by this sector; and air conditioning systems are the major consumers of electricity, accounting for approximately 48%. The aim of this work is to propose a method for estimating the electricity end-use for air conditioning systems. The proposed method was applied to a public hospital called *Hospital Regional de Betim*, located in Minas Gerais, Brazil. The method is based on obtaining electricity consumption from measurements taken during seven days over the hottest period of the year and seven days over the coldest period. A comparison of room temperature with the total electricity consumption of the hospital and also with the specific consumption of air conditioning system showed good correlations in both cases. This allowed to simplify the estimation of the air conditioning end-use. Results showed that the air conditioning system of the hospital is the most significant electricity end-use, reaching 31.9% of total electricity consumption. It was concluded that variations in external average temperature affect the electricity consumption of the air conditioning system. As all existing systems are not dependent on temperature, i.e., have a homogeneous energy demand, it appears that the variations in the total electricity consumption of the hospital that occur throughout the year are due to variations in external average temperature. Finally, it can be concluded that the method proposed herein allows to obtaining a reliable estimate of the electricity end-use for air conditioning systems in hospitals.

Keywords: air conditioning, hospital, electricity end use.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de condicionamento de ar vem aumentando consideravelmente nos últimos anos como consequência tanto das mudanças climáticas (EEDAL, 2006; LAM et al., 2007) quanto das variações do microclima (BECALLI et al., 2007). Adicionalmente, a drástica redução de preços dos aparelhos de ar condicionado tem facilitado sua aquisição e conseqüentemente contribuído para o crescente consumo de energia elétrica deste segmento (WILKENFELD, 2006; PILLI-SIHVOLA et al., 2010).

Estudo feito sobre o consumo em quatro edifícios comerciais de Hong Kong, por Lam et al. (2002), apontou o sistema de ar condicionado como o principal uso final de eletricidade. Identificou-se os resfriadores a líquido (*chillers*) como os maiores responsáveis pelo pico de demanda. O estudo conclui que se o sistema de ar condicionado fosse reprogramado para acumular água gelada durante os horários de menor consumo, poder-se-ia reduzir a carga de pico dos prédios em até 20%.

Ao se estudar o consumo com os sistemas de ar condicionado é preponderante que se conheça bem as variações da temperatura do ar externo. Räsänen et al. (2010) recomendam que a temperatura seja coletada preferencialmente no local do estudo de caso. Em sua pesquisa sobre o comportamento do consumo ao longo de cada hora do dia de um grande número de pequenos consumidores na Finlândia, os autores constataram grande dificuldade em trabalhar com esta grandeza, onde na maioria dos casos verificou-se não linearidade com o consumo. Isso também foi constatado por Pilli-Sihvola et al. (2010) em seu estudo sobre a relação entre mudanças climáticas e consumo de eletricidade para cinco países europeus. Por outro lado, Lam e Li (2002) constataram fortes correlações entre o uso da eletricidade e a temperatura do ar externo em seu estudo sobre o consumo de energia elétrica em quatro *shoppings centers* na cidade de Hong Kong.

No Brasil, os sistemas de ar condicionado respondem por quase a metade do consumo de energia elétrica do setor público, o qual, de forma geral, tem alta dependência do setor elétrico. O primeiro gráfico da Figura 1(A), baseado em dados de 2009, mostra que cerca de 85% do consumo energético deste setor está concentrado na eletricidade (BEN, 2010). A desagregação por usos finais produz o perfil indicado no segundo gráfico da Figura 1(A), baseado nos dados do último relatório de avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil e elaborado sobre uma base de dados de 2005 (ELETROBRAS, 2010).

Segundo Vargas Jr (2006), os sistemas de ar condicionado dos hospitais públicos brasileiros, em média, são responsáveis por cerca de 44% do consumo total destes estabelecimentos. A Figura 1(B) mostra os usos finais desagregados de hospitais públicos como uma média que ocorre no Brasil, entretanto ressalta-se que o autor não cita a localidade nem a quantidade de hospitais pesquisados.

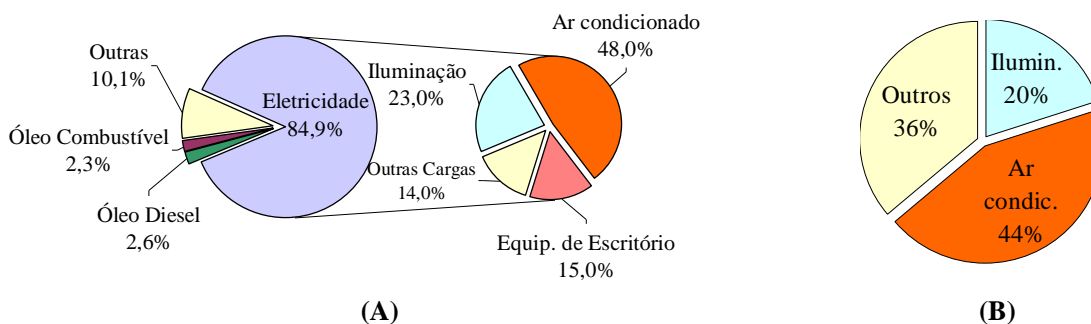


Figura 1. Usos finais de energia no Brasil: (A) setor público, (B) hospitais públicos.

Szkló (2003) classifica o porte dos hospitais brasileiros em função da relação da quantidade de leitos disponíveis com a quantidade de quartos para internação. O Hospital Público Regional de Betim enquadra-se, segundo a metodologia do autor, em hospital médio com baixo nível de conforto. Para este porte, Szkló (2003) aponta que os sistemas de ar condicionado do tipo centralizado estão presentes em cerca de 10% dos estabelecimentos. Ainda segundo o referido autor, o uso final da eletricidade com sistemas de ar condicionado para os citados hospitais varia entre 24 e 27%, podendo atingir até 41% para hospitais de grande porte.

É de consenso geral que para avaliação de *retrofits* em sistemas de energia elétrica deve-se conhecer os usos finais da eletricidade (GHISI et al., 1997). Conhecer o uso final especificamente em sistemas de ar condicionado é necessário em algumas ocasiões, por exemplo, para se determinar o dispêndio setorizado com energia elétrica ou mesmo como uma ferramenta de conhecimento dos usos finais do hospital.

Barros Filho (2007) ressalta a importância de se conhecer os usos finais da energia elétrica como ferramenta inicial para elaboração de estudos de eficiência energética. Em sua pesquisa, o citado autor aponta o uso final com sistemas de ar condicionado como responsável por 38%, em média, em relação ao consumo total de um prédio comercial na cidade de São Paulo.

Se fosse viável efetuar-se medições do consumo de energia elétrica no sistema de ar condicionado ao longo de todo o ano, este uso final seria facilmente determinado. Porém, em geral, isto não é possível, devido principalmente ao elevado custo da mão-de-obra e indisponibilidade de recursos materiais para tal. Assim o mesmo deve ser estimado. Para uma maior confiabilidade e precisão, as estimativas devem ser baseadas em amostras de medições. Estas amostras devem ser coletadas durante um período que seja suficiente para avaliar o perfil do citado uso final.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é apresentar um método para estimar o uso final de energia elétrica com sistemas de ar condicionado em hospitais por meio de amostras de medições.

## **3. MÉTODO**

O método proposto foi aplicado no Hospital Público Regional de Betim, em Minas Gerais. O hospital atende a população local e de vinte e sete cidades vizinhas. O hospital possui uma área construída de 18.907m<sup>2</sup>, sendo que cerca de 28% dessa área é condicionada artificialmente por refrigeração de ar.

Antes de se iniciar efetivamente a estimativa do consumo anual com os sistemas de ar condicionado, devem ser observadas as variações no consumo de energia elétrica do hospital, a partir da análise das contas emitidas pela concessionária local. Recomenda-se a análise das contas de pelo menos cinco anos mais recentes. Este período proposto vai ao encontro da determinação do Código Civil Brasileiro, que entrou em vigor em janeiro de 2003, instituído pela lei 10.406 de 10 de janeiro de 2002 (BRASIL, 2002), da obrigatoriedade de guarda deste tipo de documento por pelo menos cinco anos, para efeitos legais.

Após padronizar os consumos registrados nas contas para um período de 30 dias, deve-se verificar a existência de correlações entre os consumos médios e as temperaturas externas médias de cada mês do ano. Caso o R<sup>2</sup> seja superior a 0,60, ou seja, se pelo menos 60% das variações nos consumos médios estiverem relacionadas às variações das temperaturas médias do ar externo mais próximo possível do hospital, admite-se que as variações de consumo do estabelecimento são decorrentes das variações de consumo do sistema de ar condicionado. No entanto, esse procedimento deve ser adotado somente quando os demais sistemas consumidores de energia não dependem diretamente da temperatura do ar externo. Isso pode ser feito desde que não existam outras variações sazonais do consumo, como ligação sistemática de máquinas e equipamentos em determinadas estações do ano, e não haja alterações significativas na quantidade de leitos ocupados ao longo do ano. Satisfeitas as condições supra citadas, o consumo médio no inverno deve ser comparado com o consumo médio no outono. Da mesma forma, deve ser feita a comparação entre os consumos médios no verão e na primavera.

Não havendo diferenças significativas o valor do consumo típico no verão pode ser considerado igual ao da primavera. Da mesma forma, o consumo no inverno pode ser considerado igual ao do outono. Este procedimento reduz o tempo de pesquisa e conseqüentemente os custos. Caso haja diferenças significativas, deve-se analisar se houve alguma alteração no sistema elétrico com a inclusão ou exclusão de cargas, que possam justificar as diferenças de consumo entre as estações.

Aceita-se como tolerável uma diferença de consumo dentro das estações quentes (verão e primavera) ou das estações frias (inverno e outono) de até 10%. Com base em uma expectativa de representatividade de 44% do consumo do sistema de ar condicionado em relação ao consumo total de hospitais (VARGAS Jr., 2006), essa diferença provocaria, no máximo, erros de estimativa de 2,2% em relação ao consumo total do estabelecimento (MOREIRA, 2010). Valor este inferior aos 2,22% de máxima incerteza provável de medição<sup>1</sup> para medidores de energia já instalados, permitido pela ANEEL (BRASIL, 2005).

Uma vez constatadas que as diferenças não superam o valor acima proposto, devem ser iniciadas as medições no sistema de ar condicionado, as quais devem ser feitas ao longo das 24 horas do dia, durante uma semana que compreenda as datas dos solstícios de verão e inverno. As medições durante uma semana completa objetivam verificar se existem variações de consumo ao longo dos dias da semana. As datas dos solstícios de verão e inverno devem ser adotadas por representar os dias mais prováveis de maiores e menores temperaturas médias, respectivamente.

### **3.1. Os equipamentos de medição**

As medições das grandezas elétricas podem ser realizadas com analisadores e/ou registradores de energia que meçam pelo menos tensão, corrente e potência ativa nas três fases e que possuam memória de massa. As medições sobre as quais este trabalho se desenvolveu foram realizadas utilizando-se um analisador de

---

<sup>1</sup> Incerteza provável de medição: É a raiz quadrada da soma dos quadrados das classes de exatidão dos transformadores de corrente (TC), potencial (TP) e do próprio medidor de energia, adicionando ao resultado, o valor de 0,05% referente ao erro imposto pelos cabos dos TP (BRASIL, 2005).

energia de fabricação Sultech, tipo ST9600R, que mede diversas grandezas elétricas trifásicas, através de três sensores flexíveis que suportam correntes de 3 a 3.000A. A classe de exatidão das medições de potência e de corrente é menor que 1%. Os dados são armazenados na memória de massa do aparelho e descarregados em computador para o devido tratamento. A Figura 2(A) mostra a foto do analisador.

Em algumas situações pode ser necessário avaliar a potência individualmente absorvida por equipamentos, tais como pequenos motores, aparelhos de ar condicionado de janela, entre outros. Onde não for possível a medição de potência diretamente com o analisador e/ou registrador de energia, deve-se conhecer o fator de carga individual. O fator de carga multiplicado pela potência de placa do equipamento em análise fornece a potência absorvida. O fator de carga individual é a razão entre a corrente medida por um amperímetro e a corrente de placa do equipamento, estando o mesmo em seu regime nominal de funcionamento. Sugere-se utilizar um amperímetro alicate para as medições de corrente, a exemplo do utilizado neste trabalho e ilustrado através da Figura 2(B), o qual possui classe de exatidão de  $\pm 2\%$ .

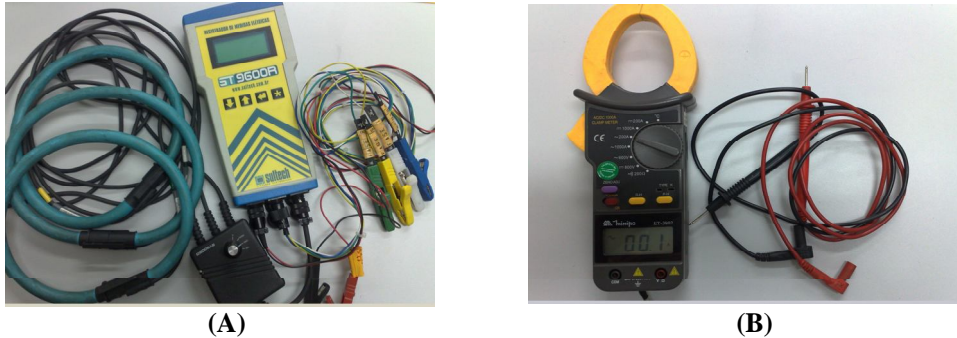


Figura 2. Instrumentos de medição: (A) Analisador de energia; (B) Amperímetro alicate.

As temperaturas do ar externo preferencialmente devem ser obtidas no mesmo local de estudo ou em suas proximidades. No presente trabalho, por não existir uma estação meteorológica na cidade de Betim, optou-se por utilizar os valores de temperatura do ar informados pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), com base nas medições feitas na estação climatológica existente em uma de suas subestações elétricas, designada Subestação Barreiro. Esta subestação está localizada no bairro Barreiro, em Belo Horizonte, local mais próximo do estabelecimento em estudo, distante aproximadamente 30km e com características ambientais semelhantes à cidade de Betim.

A citada estação climatológica da CEMIG coleta as temperaturas através de um termômetro eletrônico com sensor de resistência de platina (Pt-100), faixa de medição  $-40$  a  $+60$  °C, erro de linearidade menor que  $\pm 0,5\%$  °C, estabilidade com desvio anual menor que 1% e fabricação Vaisala. As informações são automaticamente gravadas em computadores e geradas planilhas eletrônicas com os valores.

### 3.2. O sistema de condicionamento de ar central

Na impossibilidade de se efetuar medições com os equipamentos em regime nominal de funcionamento, a potência absorvida pelos mesmos pode ser calculada como o somatório da razão entre o produto da potência de placa de cada equipamento pelo seu fator de carga, e o rendimento, conforme Equação 1.

$$P_t = \sum_{j=1}^n \frac{P_{p_n}}{\eta_n} \times \frac{I_{m_n}}{I_{p_n}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$P_t$  é a potência total absorvida pelos equipamentos [kW];

$P_p$  é a potência de placa de cada equipamento [kW];

$\eta$  é o rendimento de cada equipamento [adimensional];

$I_m$  é a corrente absorvida pelo equipamento em condições nominais [A];

$I_p$  é a corrente lida diretamente na placa de características técnicas do equipamento [A];

$n$  é o número que identifica cada equipamento considerado.

Geralmente o valor do rendimento dos equipamentos pode ser obtido na placa de características técnicas dos mesmos.

O tempo médio de funcionamento pode ser obtido através de entrevistas com as pessoas usuárias ou mantenedoras dos sistemas de condicionamento de ar ou ainda calculado com base em amostras de medições de consumo e de potência absorvida pelos equipamentos. Assim, o tempo médio de funcionamento na estação de interesse deve ser calculado através da Equação 2.

$$T_m = \frac{C_m}{P_t} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$T_m$  é o tempo médio de funcionamento em um dia [h];

$C_m$  é o consumo médio em um dia de funcionamento do sistema, calculado com base na quantidade de dias de medição [kWh];

$P_t$  é a potência total absorvida pelos equipamentos que compõem o sistema em análise, calculada através da Equação 1 [kW].

Geralmente, a quantidade de climatizadores é grande e a potência total dos mesmos, comparada com a do sistema de geração de água gelada, é pequena. Logo, com vistas a agilizar os levantamentos, pode-se admitir que o tempo médio diário de funcionamento dos climatizadores seja o mesmo obtido no sistema de geração de água gelada. Isto é coerente, pois, o acionamento dos resfriadores a líquido e bombas por períodos maiores ou menores dependem diretamente da temperatura da água de alimentação dos climatizadores, cujo acionamento é feito através de termostatos. Desta forma o consumo com os climatizadores, portanto, pode ser calculado através da Equação 3.

$$C_c = P_t \times (N_f \times T_{mf} + N_q \times T_{mq}) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$C_c$  é o consumo anual estimado para os climatizadores [kWh];

$P_t$  é a potência total absorvida pelos equipamentos, calculada através da Equação 1 [kW];

$N_f$  é o número de dias que compõem as estações frias (inverno e outono), subtraído da fração que representa, em dias, a quantidade de horas em que o sistema está desligado para manutenção nestas estações [dia];

$N_q$  é o número de dias que compõem as estações quentes, subtraído da fração que representa, em dias, a quantidade de horas em que o sistema está desligado para manutenção nestas estações [dia];

$T_{mf}$  é o tempo médio de funcionamento nas estações frias, calculado através da Equação 2 [h/dia];

$T_{mq}$  é o tempo médio de funcionamento em um dia nas estações quentes, calculado pela Equação 2 [h/dia].

Havendo correlações superiores a 60% entre os consumos médios e as temperaturas médias do ar, o consumo de um dia típico do verão e do inverno, calculado como a média diária de consumo a partir de sete dias de medição em cada estação, servirá de base para o cálculo da estimativa de consumo anual.

Será admitido que o consumo médio diário calculado para o verão servirá de base para o cálculo da estimativa de consumo dos dias que compõem as estações quentes.

Os sistemas de ar condicionado central geralmente não são desligados intencionalmente em nenhum momento ao longo do ano, inclusive no inverno. Portanto, o consumo nesta estação pode ser considerado igual ao consumo mínimo que ocorre durante o ano.

Desta forma, a estimativa do uso final com o sistema ar condicionado pode ser feita através da Equação 4.

$$C_{ac} = C_{agf} \times N_a + (C_{agq} - C_{agf}) \times N_q + C_c \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$C_{ac}$  é o consumo anual estimado para o ar condicionado central [kWh];

$C_{agf}$  é o consumo médio diário do sistema de geração de água gelada nas estações frias, calculado como a média aritmética do consumo dos sete dias de medição próximos ao solstício de inverno [kWh];

$C_{agq}$  é o consumo médio diário do sistema de geração de água gelada nas estações quentes, calculado como a média aritmética do consumo dos sete dias de medição próximos ao solstício de verão [kWh];

$N_a$  é o número de dias dos 12 últimos meses anteriores à pesquisa, subtraído da fração que representa, em dias, a quantidade de horas em que o sistema está desligado para manutenção no ano [dia];

$N_q$  é o número que representa a soma dos dias que compõem as estações quentes (verão e primavera) dos 12 últimos meses anteriores à pesquisa, subtraído da fração que representa, em dias, a quantidade de horas em que o sistema está desligado para manutenção preventiva ou corretiva nestas estações [dia].

$C_c$  é o consumo do sistema de climatização, calculado conforme Equação 3 [kWh].

A quantidade de horas em que o sistema está desligado para manutenção, preventiva ou corretiva, pode ser obtida com o setor de manutenção do estabelecimento.

### 3.3. O sistema de condicionamento de ar de janela

Os aparelhos de ar condicionado de janela, se existentes, devem ter seus consumos estimados a partir da potência instalada, da estimativa do tempo médio de funcionamento por dia e do número de dias de funcionamento por ano. A potência instalada deve ser obtida com base em medições a serem realizadas em pelo menos um aparelho de cada capacidade de refrigeração.

Para a determinação do tempo médio de funcionamento por dia admitiu-se que os ar condicionados de janela funcionam ininterruptamente enquanto há expediente nos ambientes nos quais estão instalados, na primavera e verão e ficam totalmente desligados no outono e inverno.

Para a obtenção do horário de expediente bem como dos dias de funcionamento por ano, deve-se entrevistar os funcionários dos ambientes onde os aparelhos estão instalados. Assim, o consumo anual com o sistema de ar condicionado de janela deve ser calculado por meio da Equação 5.

$$C_{aj} = \sum_{j=1}^n P_{i_n} \cdot T_{m_n} \cdot N_{j_n} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$C_{aj}$  é o consumo anual estimado para o sistema de ar condicionado de janela [kWh];

$P_i$  é a potência instalada de cada aparelho de ar condicionado de janela [kW];

$T_m$  é o tempo médio de funcionamento diário [h];

$N_j$  é o número de dias de funcionamento por ano do aparelho de ar condicionado de janela [dia];

$n$  é o número que representa cada aparelho de ar condicionado de janela existente.

### 3.4. O uso final com o sistema de ar condicionado

O consumo total anual estimado do sistema de ar condicionado deve ser calculado através da equação 6.

$$C = C_{ac} + C_{aj} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$C$  é o consumo anual estimado para o sistema de ar condicionado [kWh];

$C_{ac}$  é o consumo anual estimado para o sistema de ar condicionado central [kWh];

$C_{aj}$  é o consumo anual estimado para o sistema de ar condicionado de janela [kWh].

Para referendar a Equação 6, pode-se comparar o consumo real de energia elétrica do estabelecimento, registrado ao longo dos anos em análise, com o mesmo consumo, porém estimado a partir da referida equação. A estimativa do consumo deverá basear-se apenas nas informações contidas nas contas de energia, portanto, sem utilizar quaisquer amostras de medições. Deve-se admitir que o mês de menor consumo de energia elétrica cada ano refere-se ao consumo normal do estabelecimento, já incluído o consumo do sistema de condicionamento de ar, considerado como o mínimo. Deve-se admitir também que o mês de maior consumo refere-se ao consumo normal do estabelecimento, já incluído o consumo do sistema de ar condicionado, considerado como o máximo. Logo, a diferença entre o consumo máximo e mínimo reflete a máxima variação de potência do sistema de ar condicionado, em função da variação da temperatura do ar que ocorreria no dia mais quente do ano, teoricamente no solstício de verão.

A diferença entre o maior e o menor consumo mensal de energia dentro do ano pode ser considerado como a demanda adicional de energia do sistema de ar condicionado para cada mês das estações quentes. O consumo mínimo mensal registrado nas contas de energia pode ser considerado como o menor consumo de energia que ocorre ao longo de todo o ano. Para esta simulação deve-se desprezar o cálculo do consumo do sistema de climatização (*fan coils*) e do consumo dos aparelhos de ar condicionado de janela, uma vez que o reflexo destes consumos já se encontra embutido nos valores registrados na conta de energia, ou seja, a mesma carga foi considerada para os períodos em análise.

A determinação do percentual de representatividade do uso final com o sistema de ar condicionado em relação ao consumo total do hospital pode ser calculado através da Equação 7, que baseia-se na relação entre o consumo anual estimado do sistema de ar condicionado, calculado através da Equação 6, e o consumo total de energia registrado no mesmo período considerado. Neste trabalho, considerou-se o período equivalente aos últimos 12 meses anteriores ao início da pesquisa.

$$P_{ac} = \frac{C}{C_{ee}} \times 100\% \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$P_{ac}$  é o uso final com o sistema de ar condicionado em relação ao consumo total do estabelecimento [%];

$C$  é o consumo anual estimado para o sistema de ar condicionado [kWh], calculado conforme a Equação 6;

$C_{ee}$  é o consumo anual de energia elétrica do estabelecimento, calculado pela soma dos consumos mensais com energia dos últimos 12 meses anteriores à pesquisa [kWh].

#### 4. RESULTADOS

O sistema principal de condicionamento de ar usado no Hospital Público Regional de Betim é do tipo centralizado com expansão indireta, com termoacumulação de água gelada. A central é composta pelo sistema de geração de água gelada e pelo sistema de climatização. O sistema de geração de água gelada, com capacidade total de refrigeração de 150TR, é composto por resfriadores a líquido tipo alternativo, por bombas de água gelada primárias (BAGP) que fazem a recirculação de água entre o tanque de termoacumulação e os próprios resfriadores a líquido e por bombas de água gelada secundárias (BAGS) que pressurizam a rede de alimentação de água dos climatizadores. A potência nominal instalada do sistema de geração de água gelada é de 238,0kW. A Tabela 1 relaciona os equipamentos constituintes do sistema de geração de água gelada. O sistema de climatização dos ambientes é composto por 42 climatizadores, totalizando uma potência instalada de 60,3kW, que absorvem efetivamente 52,0kW sob regime nominal.

Tabela 1. Equipamentos do sistema de geração de água gelada.

Equipamento	Quantidade	Potência unitária [cv]
Resfriadores 50TR	3	86,4
BAGP	4	2
BAGS	3	10

##### 4.1. Determinação do consumo médio de energia elétrica do hospital

Após a padronização do consumo para 30 dias, das 60 contas de energia fornecidas pelo Hospital entre janeiro de 2004 e dezembro de 2008, verificou-se um consumo com comportamento uniforme, com coeficiente de variação de 5,3%. Esta pequena variação do consumo no período pode ser visualmente identificada na Figura 3 onde pode-se também observar as variações da temperatura média mensal do ar externo. Nota-se uma semelhança entre as variações do consumo e a curva das variações da temperatura.

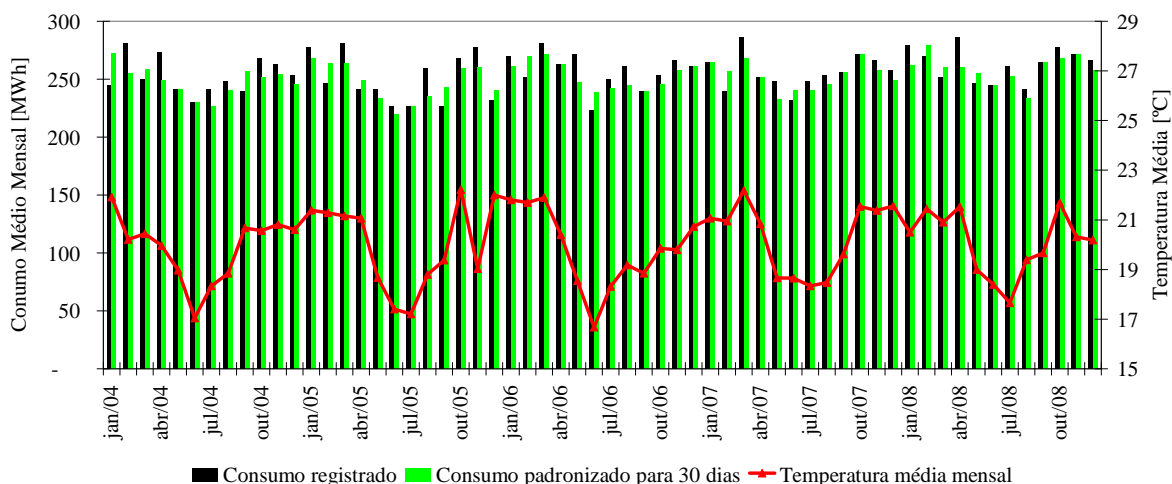


Figura 3. Médias mensais de temperatura do ar e consumo de energia elétrica do HPRB

Verificou-se que o consumo de energia elétrica nos anos analisados sofreu pequenas variações, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Consumo anual de energia elétrica do Hospital Público Regional de Betim

	2004	2005	2006	2007	2008
Consumo anual [kWh]	2.980.814	2.963.008	3.042.702	3.034.798	3.110.112
Variações do consumo em relação ao ano anterior		-0,60%	2,69%	-0,26%	2,48%

Houve um pequeno crescimento natural do consumo de energia, em média de 0,85% ao ano, uma vez que a área construída não teve majoração neste período. Ao se comparar o consumo nas estações do ano, nota-se uma elevação no verão, em torno de 5%, em relação ao consumo médio anual do período analisado.

Segundo informações do setor de manutenção, no período analisado não houve nenhuma intervenção

no sistema elétrico que pudesse modificar o perfil de consumo nas estações. Analisando-se os dados fornecidos pelo setor de estatística hospitalar, verifica-se que a maior amplitude de variação da taxa de ocupação de leitos, dentro de um ano, aconteceu em 2007, variando entre 92% e 107%<sup>2</sup>, portanto bastante estável. Estas observações remetem a se inferir que exista dependência entre os consumos nas estações e as respectivas temperaturas do ar externo. De fato, pode-se observar através da Figura 4(A) que há relação entre as variações de temperaturas nas estações dos cinco anos analisados e as variações de consumo. Cálculos realizados apontaram correlações superiores a 0,95 entre o consumo médio e a temperatura externa média em cada estação do ano. A Figura 4(B) mostra que correlações satisfatórias continuam a existir mesmo quando se observa o comportamento das variações mensais de temperatura do ar e de consumo.

Em face das análises anteriores, conclui-se que as variações sazonais de consumo do estabelecimento são decorrentes do menor uso do sistema de condicionamento de ar no inverno e maior no verão.

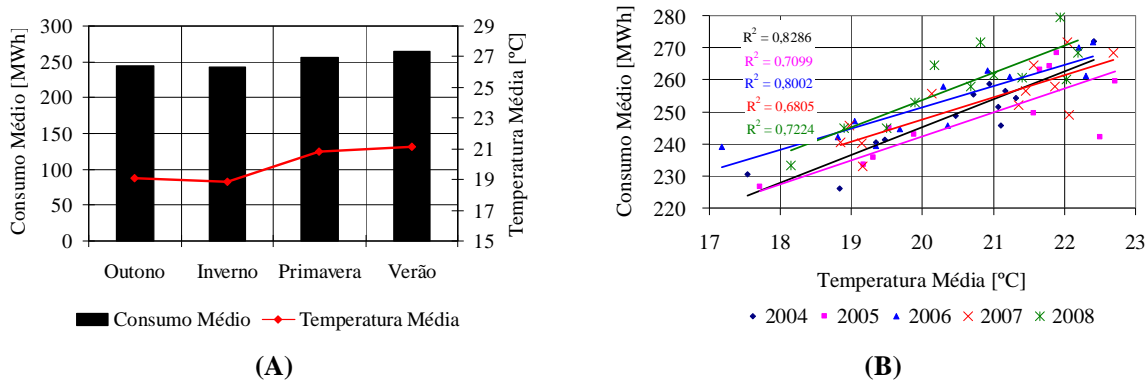


Figura 4. (A) Consumo médio mensal e temperatura média do ar externo nas estações entre janeiro/2004 e dezembro/2008, (B) Correlação entre as médias mensais de consumo e temperatura do ar externo.

#### 4.2. Determinação do consumo médio de energia elétrica do sistema de ar condicionado central nas estações quentes

Medições de verão, realizadas com vistas a se determinar o consumo de um dia típico das estações quentes, foram feitas entre os dias 18/12/2008 e 24/12/2008. Os valores médios de consumo em cada hora ao longo dos dias de medição estão indicados na Figura 5(A).

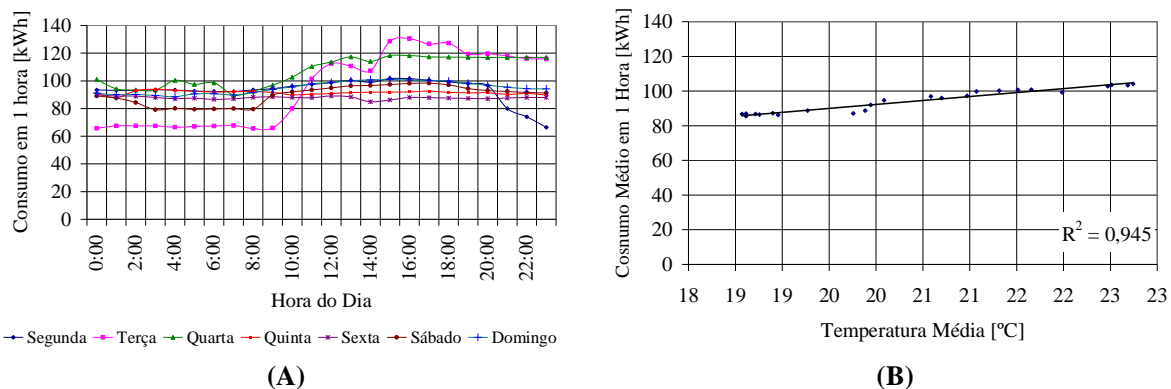


Figura 5. Sistema de ar condicionado central: (A) Consumo médio a cada hora nos dias monitorados no verão, (B) correlações entre o consumo médio de energia e a temperatura média do ar externo.

Através da observação da Figura 5(B), verifica-se a existência de forte correlação entre o consumo médio do sistema de geração de água gelada e a temperatura média do ar externo, com  $R^2$  superior a 0,94. A temperatura do ar foi calculada como a média aritmética das temperaturas medidas a cada hora no mesmo período em que as medições de consumo foram realizadas. A potência média absorvida nas estações quentes é de 162,31kW que produz um consumo médio diário de 2.262kWh, com uma variação entre 2.107 e 2.572kWh. Com base nestes dados pode-se afirmar que o sistema de geração de água gelada equivale ao funcionamento, em média, 13,94 horas por dia sob regime nominal, nas estações quentes. Observou-se também que o consumo independe do dia da semana.

<sup>2</sup> A taxa de ocupação maior que 100% indica que em alguns períodos houve necessidade de se instalar leitos provisórios (macas) nos corredores para atendimento da demanda.



### 4.3. Determinação do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado central nas estações frias

As medições de inverno, realizadas para se determinar o consumo de um dia típico das estações frias, foram feitas entre os dias 18/06/2009 e 24/06/2009. Para as estações frias foi realizado um estudo semelhante ao feito para as estações quentes, o qual confirma também a existência de correlação entre o consumo médio do sistema de geração de água gelada e a temperatura média do ar. O  $R^2$  encontrado de 0,64, menor que no verão, pode ser justificado pela atividade mínima e mais constante do sistema de geração de água gelada.

A potência média efetivamente absorvida nas estações frias é também de 162,31kW que produz um consumo médio diário de 1.676kWh, com uma variação entre 1.538 e 1.829kWh. Desta forma, conclui-se que o sistema de geração de água gelada equivale ao funcionamento, em média, 10,32 horas por dia sob regime nominal, nas estações frias. Ratificou-se que o consumo independe do dia da semana.

### 4.4. Determinação do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado central

Nos cinco anos analisados, verificou-se variações de consumo do hospital no verão em relação à primavera entre 0,5%, ocorrido em 2008, e 5,1%, ocorrido em 2006. As variações de consumo no inverno em relação ao outono tiveram o valor mínimo de 0,4% em 2004 e 2005 e máximo de 3,0% em 2006. Constata-se, portanto, que pequenas variações de consumo ocorreram nas estações quentes e também nas frias.

O consumo médio diário no inverno será considerado como o consumo mínimo do sistema de geração de água gelada ao longo de todo o ano, uma vez que o mesmo funciona ininterruptamente, desligado apenas pelos sensores de temperatura. O tempo médio diário de funcionamento do sistema de climatização foi considerado igual ao obtido no sistema de geração de água gelada. Portanto, o consumo anual com o sistema de climatização, calculado conforme a Equação 3, é de 229,90MWh.

Para o cálculo do número de dias de funcionamento dos sistemas no estabelecimento estudado, considerou-se o ano de 2008, uma vez que a pesquisa ocorrera naquele ano, subtraindo o número de dias em que os equipamentos não foram utilizados. Segundo a gerência de manutenção, em média, o sistema de ar condicionado central fica indisponível durante cerca de 20 horas por ano, devido às manutenções preventivas e corretivas. Como não se obteve informação sobre a quantidade de horas em que o sistema fica desligado para manutenção preventiva ou corretiva em cada estação, arbitrou-se que a metade das mesmas ocorre nas estações quentes e a outra metade nas estações frias. Assim, o consumo anual estimado do sistema de condicionamento central de ar, calculado conforme a Equação 4, é de 947,11MWh.

### 4.5. Determinação do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado de janela

Os poucos aparelhos de ar condicionado de janela existentes tiveram seus consumos estimados a partir da potência instalada, da estimativa do tempo médio de funcionamento por dia e do número de dias de funcionamento por ano, conforme Equação 5. Admitiu-se que os aparelhos de ar condicionado ficam ligados em tempo integral nos dias de expediente normal dos setores onde os mesmos estão instalados, durante as estações quentes e ficam desligados durante as estações frias. Logo, o consumo anual com os aparelhos de ar condicionado de janela, calculado por meio da Equação 5 é de 44,64MWh.

### 4.6. Determinação do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado do hospital

Finalmente, conclui-se que o consumo anual estimado do sistema de ar condicionado do Hospital Público Regional de Betim, calculado através da Equação 6 é de 991,74MWh, que representa 31,9% do consumo.

Para referendar a Equação 6, comparou-se o consumo real de energia elétrica do hospital em estudo, registrado nos cinco anos analisados, com o consumo estimado a partir da citada equação, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Análise da diferença entre o consumo real de energia elétrica do Hospital Público Regional de Betim e o estimado através da Equação 6.

	2004	2005	2006	2007	2008
Consumo mínimo diário [kWh]	7.294	7.316	7.971	7.512	7.530
Consumo máximo diário [kWh]	8.774	8.653	8.766	8.768	9.631
Máxima diferença de consumo* [kWh]	1.480	1.337	794	1.256	2.102
Consumo anual projetado [kWh]	2.940.544	2.913.786	3.054.161	2.970.443	3.140.467
Consumo anual real [kWh]	2.980.814	2.963.008	3.042.702	3.034.798	3.110.112
Diferença consumo real/estimado	-1,37%	-1,69%	0,38%	-2,17%	0,97%

\* Considerada como o consumo adicional do sistema de condicionamento de ar nos meses quentes.

A diferença entre o consumo real registrado nas contas de energia e o consumo estimado, utilizando-se a Equação 6, foi bastante satisfatória, conforme pode ser observado na Tabela 3, mostrando que a referida equação é adequada para as estimativas a que se propõe.

Admitiu-se que o mês de menor consumo de energia elétrica de cada ano da série analisada refere-se ao consumo normal do hospital no qual já está incluído o consumo do sistema de condicionamento de ar funcionando com atividade mínima. Admitiu-se também que o mês de maior consumo refere-se ao consumo normal do estabelecimento, já incluído o consumo do sistema de ar condicionado, operando com atividade máxima. Desta forma, a diferença entre o maior e o menor consumo reflete a máxima variação de potência do sistema de ar condicionado, em função da variação da temperatura do ar. O valor da diferença foi considerado como o consumo médio diário adicional do sistema de ar condicionado nas estações quentes. O menor consumo mensal foi considerado como o consumo mínimo que ocorre ao longo de todo o ano.

## 5. CONCLUSÕES

O método proposto foi aplicado no Hospital Público Regional de Betim onde apresentou resultados satisfatórios, uma vez que mostrou-se uma ferramenta simples para se estimar o uso final com o sistema de ar condicionado. A partir de poucas amostras de medição e obtenção de algumas variáveis fáceis de se conhecer, como dados de placa de equipamentos e realização de entrevistas, pôde-se estimar com facilidade o uso final com o sistema de condicionamento de ar do hospital.

Ademais, pôde-se concluir que em uma análise de consumo de energia elétrica de um hospital ao longo de uma série de anos, pode-se estimar o consumo do sistema de ar condicionado de forma a admitir-se que o consumo dos demais sistemas é constante. Entretanto, deve-se verificar que no período analisado não haja intervenções em algum sistema que altere significativamente o consumo do estabelecimento.

Pôde-se constatar também que o consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado nas estações quentes (primavera e verão) e nas estações frias (outono e inverno) é bastante estável. Logo, uma medição de consumo no verão e outra no inverno são suficientes para representar bem o consumo nas estações quentes e frias, respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSTRÁLIA. Bureau Of Meteorology. (Org.). **Annual Australian Climate Statement 2008**. Disponível em: <[www.bom.gov.au/announcements/media\\_releases/-climate/change/20090105.shtm](http://www.bom.gov.au/announcements/media_releases/-climate/change/20090105.shtm)>. Acesso em: 29 dez. 2010.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). Brasília, DF, 2010. Ano base 2009. **Relatório Final**. Disponível em: <<https://www.ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>>. Acesso em: 31 out. 2010.
- BARROS FILHO, Airton Menezes de; PRADO, Racine Tadeu Araújo. **Consumo desagregado de energia por uso final em shopping centers na cidade de São Paulo: estudo de caso**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2007. 22 p.
- BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Ministério Das Minas e Energia. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sis-tema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 5 – Sistemas de Medição**. Brasília, DF, 2005. 59 p.
- \_\_\_\_\_. Imprensa Nacional. **Código Civil Brasileiro**. 2002. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/2002/L10406.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/L10406.htm)>. Acesso em: 27 nov. 2010.
- EEDAL: INTERNATIONAL ENERGY EFFICIENCY IN DOMESTIC APPLIANCES & LIGHTING, 2006, London. **Building demand response capability into appliances: A help in difficult times**. London, 2006.
- ELETOBRAS. Rio de Janeiro, RJ, 2010. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Sumário Executivo – Ano Base 2005**. Disponível em: <http://www.eletobras.com/pci/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7B99EBBA5C-2EA1-4AEC-8AF2-5A751586DAF9%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>. Acesso em: 31 out. 2010.
- LAM, J.C, Li, D. W., CHEUNG, S.O. An analysis of electricity end-use in air-conditioned office buildings in Hong Kong. **Building and Environment**. v.38, p. 493-498, 2002.
- LAM, J.C, Li, D. W. Electricity consumption characteristics in shopping malls in subtropical climates. **Energy Conversion and Management**. v.44, p. 1391-1398, 2002.
- LAM, J.C, Tang, H. L, Danny, H.W. Seasonal variations in residential and commercial sector electricity consumption in Hong Kong. **Energy**. v.33, p. 513-523, 2007.
- GHISI, E.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. Determinação do consumo de eletricidade e da potência de equipamentos através de medidor portátil. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais... Salvador, Bahia: ENCAC, 1997.
- MOREIRA, J.F.C. **Método para retrofit em sistemas de iluminação de hospitais públicos: Estudo de caso no hospital público regional de Betim**. 2010. 303 p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil). Curso de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 2010.
- PILLI-SIHVOLA, K., AATOLA, P., OLLIKAINEN, M., TUOMENVIRTA, H. Climate change and electricity consumption - Witnessing increasing or decreasing use and costs?. **Energy Policy**. v.38, p. 2409-2419, 2010.
- RÄSÄNEN, T., VOUKANTIS, D., NISKA, H., KARATZAS, K., KOLEHMAINEN, M. Data-based method for creating electricity use load profiles using large amount of customer-specific hourly measured electricity use data. **Applied Energy**. v.87, p. 3538-3545, 2010.
- SZKLO, A.S.; SOARES, J.B.; TOLMASQUIM, M.T. Energy consumption indicator and CHP technical potential in the brazilian hospital sector. **Energy Conversion and Management**. v. 45, p. 2075-2091, 2003.
- VARGAS Jr. R.V. **Análise do potencial de conservação de energia elétrica em hospitais públicos de pequeno porte no Brasil: Sistemas de iluminação e ar condicionado do tipo Janela**. 2006. 218 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro, Brasil, 2006