

ANÁLISE DAS CURVAS DE CARGA DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS: ESTUDO DE CASO NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UFSC

Gladson Hoffmann da Silva (1); Fernando Simon Westphal (2); Roberto Lamberts (3)

(1) Acadêmico Eng. Civil. E-mail: gladson@labeeee.ufsc.br

(2) Eng. Civil, M.Eng. E-mail: fernando@labeeee.ufsc.br

(3) Eng. Civil, PhD. E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

LabEEE- Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
UFSC – CTC – ECV – NPC – Cep 88040-900. Cx Postal 476

RESUMO

Este trabalho apresenta a análise das curvas de carga monitoradas por uso final de energia elétrica em um edifício de escritórios. O edifício analisado compreende os dois blocos do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. O acompanhamento das curvas de carga permite a identificação do padrão de uso dos prédios, além da detecção de falhas na automação do sistema de condicionamento de ar e verificação dos benefícios proporcionados pelas medidas para minimização do consumo de energia elétrica. Verificou-se, através do monitoramento, que parte da iluminação interna permanece ligada durante a noite, enquanto os prédios estão desocupados. A desativação desses circuitos proporcionaria uma economia de 22% no consumo de energia elétrica. Alguns ventiladores também permaneceram ligados em períodos no qual a central de água gelada estava desligada, indicando falhas no sistema de automação.

ABSTRACT

This work presents the analysis of electric loads profiles by end-use recorded in an office building. Two blocks of Civil Engineering Department of the Federal University of Santa Catarina compose the building under analysis. The measurement of the electric loads profile allows the identification of the building schedules, besides errors detection in the automation of the air-conditioning system and the verification of benefits provided by energy saving measures. Through the monitoring, it was verified that a fraction of the artificial lighting system is turned on during nighttime, while the buildings are unoccupied. Switching off these electric loads should provide an energy saving about 22% in the electric energy consumption of the lighting system. Some fan-coils were permanently turned on when the central plant was turned off, which indicates an error in the automation system.

1. INTRODUÇÃO

O departamento de Engenharia Civil da UFSC ocupa dois prédios onde são desenvolvidas basicamente atividades de escritórios. Grande parte do bloco A é composta por sala de professores, com os laboratórios concentrados no piso térreo. Já no bloco B, a predominância é de laboratórios e áreas de pesquisas acadêmicas, incluindo as secretarias dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Civil. O desenho esquemático dos prédios pode ser visto na figura 1.

No projeto e execução dos prédios foram adotados conceitos de eficiência energética com o intuito de apresentá-los como referência para reformas e novas obras na UFSC, em relação ao uso racional de energia. Eles possuem um sistema de iluminação eficiente integrado à luz natural através de prateleiras de luz associadas a proteções solares nas janelas (figura 2). O condicionamento de ar é

feito através de um sistema central ao invés de aparelhos de janela comumente utilizados no campus universitário. A eficiência energética das medidas adotadas foram são apresentadas em **LEE et al (2001)** e **LEE et al. (2002)**.

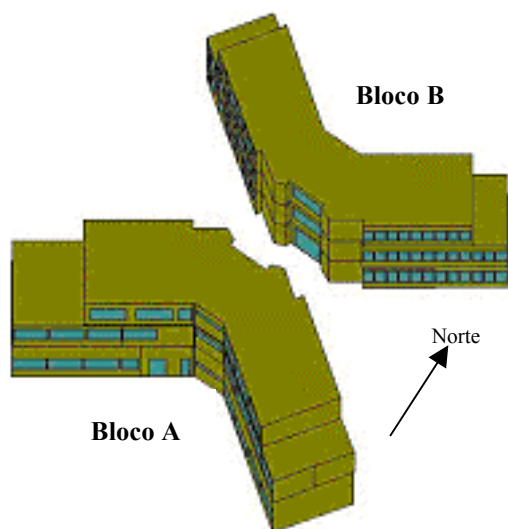


Figura 1 – Desenho esquemático dos prédios do departamento de Eng. Civil da UFSC.



Figura 2 – Proteções solares adotadas nos prédios do departamento de Eng. Civil

Já foram realizadas inúmeras medições de consumo de energia elétrica no prédio (**HOFFMANN 2002**). Estas medições foram utilizadas para confrontar com o consumo simulado para um caso hipotético, sem os conceitos de eficiência energética. Nas simulações desenvolvidas por **LEE (2001)** identificou-se uma economia de 23% no consumo de energia elétrica dos prédios devido às alternativas de projeto mais eficientes. Aperfeiçoando o modelo de **LEE (2001)**, **HOFFMANN (2002)** identificou que a não adoção das medidas de eficiência energética implicaria em um acréscimo de 27,5% no consumo de energia elétrica e um aumento de 44,4% na demanda máxima registrada no ano.

Os prédios continuam sendo monitorados para verificação da eficiência energética das medidas adotadas.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é analisar as curvas de carga e os padrões de uso de um edifício de escritórios – especificamente, o novo prédio do departamento de Engenharia Civil da UFSC – através de monitoramento contínuo da curva de carga.

3. METODOLOGIA

3.1 Equipamentos de Medição

As medições foram realizadas utilizando um analisador de grandezas elétricas da marca Rustrak Instruments, modelo Rustrak Ranger II. Este equipamento está apto a medir o consumo de energia em circuitos trifásicos e sua faixa de trabalho se estende até 500 A por fase e 600 V. Os dados medidos são registrados na memória do aparelho em intervalos de até 250ms e depois transferidos para um microcomputador. O equipamento instalado em um quadro de distribuição pode ser visualizado na figura 3.

3.2 Circuitos Monitorados

O fornecimento de energia pela subestação - localizada no bloco A – é dividido por uso final, ou seja, há três quadros de distribuição, sendo que cada um deles possui um destino específico: condicionamento de ar, iluminação e equipamentos (circuito destinado a tomadas).

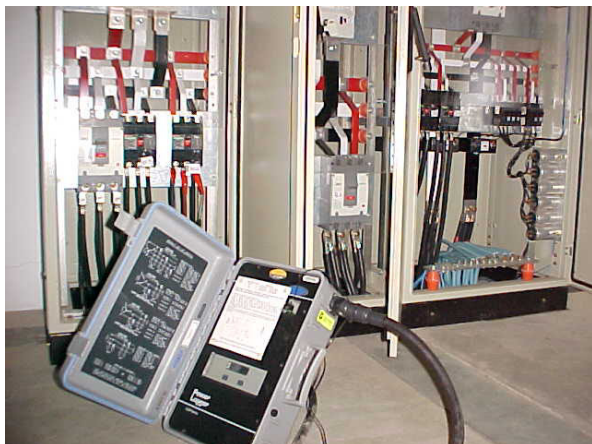


Figura 3 – Quadros de distribuição do prédio da Engenharia Civil com equipamento de medição Rustrak Ranger II.

No caso de fornecimento de energia elétrica para circuitos de tomadas e de iluminação, ainda existe uma subdivisão em bloco A e bloco B.

Para o condicionamento de ar, existem três disjuntores gerais no mesmo quadro: um destinado ao resfriador de líquido (único e responsável pelos dois blocos); outro destinado aos ventiladores (*fan-coils*) do bloco A; e outro destinado aos ventiladores do bloco B (quadro de distribuição da figura 3).

3.3 Rotinas de Medição

Adotou-se períodos de uma semana para cada disjuntor geral de cada bloco. Foram extraídos do aparelho os valores de potência elétrica registrada a cada 5 minutos, totalizando 2016 registros por fase durante cada período de uma semana.

Em alguns dos gráficos mostrados nos resultados, há a repetição de dois dias da semana, como por exemplo, “quinta 1” e “quinta 2”. Este fato ocorre porque o aparelho de medição fora programado para medir períodos exatos de 7 dias, sendo que este começou em um horário qualquer da quinta-feira (quinta 1) e terminou na quinta-feira da outra semana (quinta 2). Quando não há a repetição de dois dias da semana na legenda dos gráficos, significa que o consumo foi medido no dia inteiro (das 0 hora às 24 horas) em todos os dias da semana.

4. RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados estão divididos por uso final, de acordo com a organização do sistema elétrico dos prédios na subestação.

O condicionamento de ar (ventiladores e Central de Água Gelada) é o maior responsável pelo consumo de energia, com 40% de participação sobre o total anual. A iluminação é responsável por 32% e os demais equipamentos por 28% do consumo total de energia elétrica (HOFFMANN 2002).

4.1 Iluminação

A figura 4 apresenta as curvas de carga do sistema de iluminação do bloco A medidas no período de 06/02/2003 a 13/02/2003. Nota-se que em fevereiro de 2003, o bloco A apresentou um comportamento típico de ambiente de escritórios. A ocupação inicia-se logo cedo, em torno das 7h30, sendo que às 12h, horário de almoço, a curva de carga apresenta uma queda, que é recuperada em torno das 13h30, voltando a cair quando se aproxima o final da tarde, até que às 23h a desocupação esteja completa.

Vale ressaltar que as fontes de luz externas ao prédio são alimentadas por um outro circuito exclusivo para iluminação externa, o qual não faz parte dos circuitos monitorados.

O bloco B tem uma potência instalada em iluminação superior a do bloco A (24 kW frente a 20,5 kW, respectivamente). Contudo, observa-se no bloco B um pico na demanda de energia elétrica desse sistema superior ao bloco A. Este fato deve-se, principalmente, ao padrão de uso de iluminação nos laboratórios de Materiais e Estruturas, localizados no bloco B, que apesar de terem alta potência instalada - em torno de 5 kW - utilizam basicamente a iluminação natural durante o dia. O Laboratório de Estruturas, com potência instalada de 3 kW, possui pé-direito duplo com grande área envidraçada nas paredes, enquanto que o Laboratório de Materiais (2 kW), mesmo sem pé-direito duplo recebe boa contribuição da luz natural, proporcionada pelas prateleiras de luz executadas no prédio.

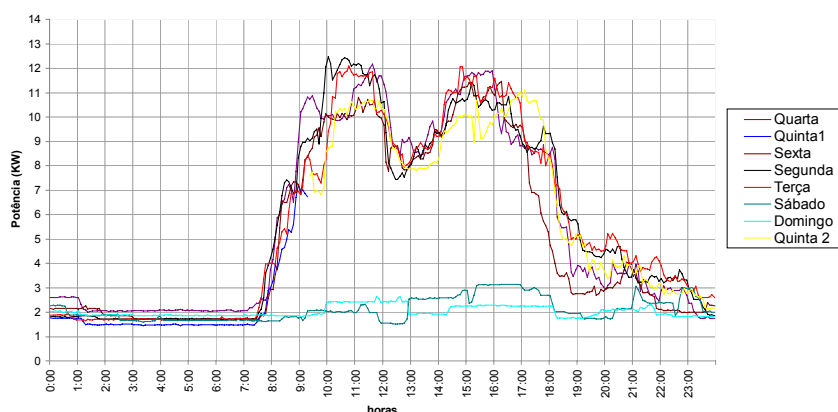


Figura 4 – Curvas de carga do sistema de iluminação do bloco A medidas entre 06/02/2003 e 13/02/2003.

A figura 5 apresenta as curvas de carga do bloco B registradas entre 20/03/2003 e 26/03/2003. Observa-se que no bloco B as curvas de carga não são tão uniformes quanto às do bloco A. Sendo o bloco A composto em grande parte por salas de professores – e estes possuindo um horário mais regular de trabalho – as curvas de carga verificadas são mais regulares.

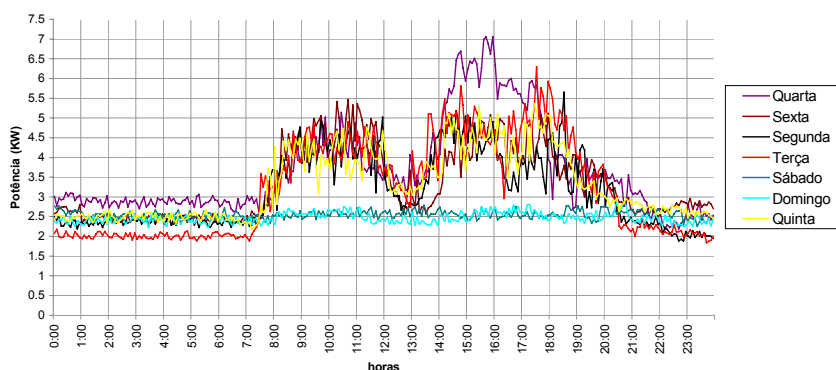


Figura 5 – Curvas de carga do sistema de iluminação do bloco B medidas entre 20/03/2002 e 26/03/2002.

O bloco B já possui mais laboratórios e salas de pesquisas acadêmicas, freqüentados por alunos em horários não regulares, fazendo com que a demanda de energia elétrica seja menos linear (figura 5).

A figura 6 apresenta as curvas de carga do bloco B registradas entre 27/01/2003 e 03/02/2003. Observa-se que a permanência da iluminação noturna acesa nos corredores e entradas dos dois blocos da Engenharia Civil gera uma demanda média ligeiramente superior a 2 kW no bloco B e de aproximadamente 2 kW no bloco A.

Se os prédios adotassem *timers* ou outros mecanismos de desligamento automático destas lâmpadas, poderia ser obtida uma redução no consumo em torno de 40 kWh por dia útil, sendo considerado todas as lâmpadas internas desligadas a partir das 22h até às 7h30 do dia seguinte. Isto representaria uma redução no consumo de iluminação da ordem de 22% por dia.

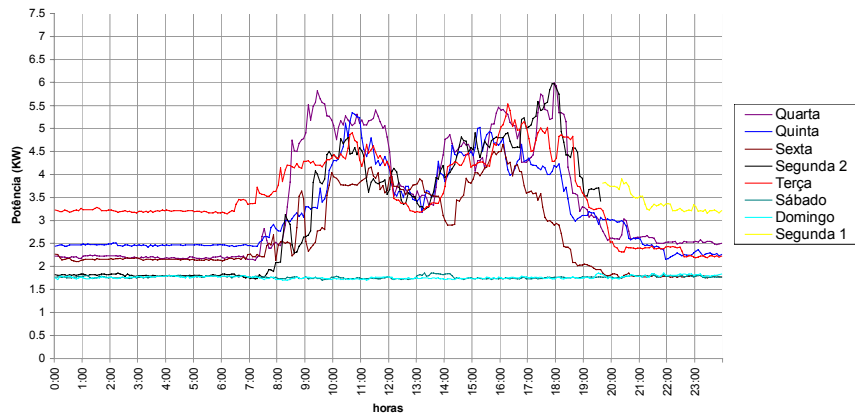


Figura 6 – Curvas de carga do sistema de iluminação do bloco B medidas entre 27/01/2003 e 03/02/2003.

4.2 Equipamentos Conectados a Tomadas

Este tópico apresenta as curvas de carga medidas nos circuitos de tomadas, ou seja, sendo excluídos os equipamentos referentes ao condicionamento de ar (ventiladores e bombas). A figura 7 apresenta as curvas de carga referentes a equipamentos conectados a tomadas (microcomputadores, impressoras, cafeteiras, bebedouros, estufas, etc.) no bloco A no período de 07/12/2001 a 13/12/2001.

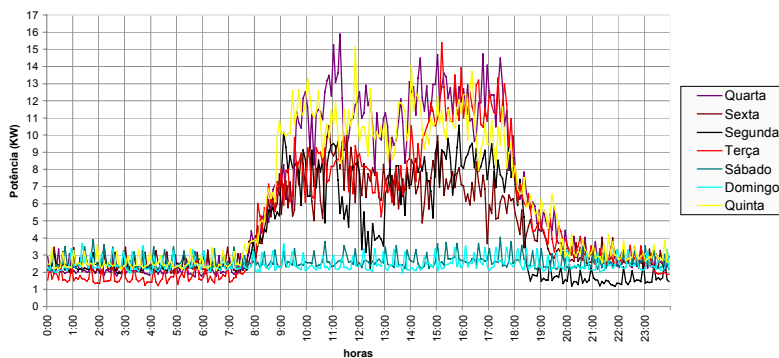


Figura 7 – Curvas de carga de equipamentos conectados a tomadas no bloco A entre 07/12/2001 e 13/12/2001.

A curva de carga dos equipamentos é bem menos linear do que a de iluminação. Os laboratórios contribuem muito para isso. Nos finais de semana se pode observar uma variação constante em pequenos intervalos de aproximadamente 25 minutos, típico do funcionamento liga/desliga das estufas. O uso dos microcomputadores pode ser notado durante o horário comercial (7h30 às 19h).

A figura 8 refere-se às curvas de carga de equipamentos conectados a tomadas no bloco B no período de 28/11/2001 a 04/12/2001. Apesar dos gráficos referentes a equipamentos terem um aspecto bem menos linear do que os gráficos referentes a iluminação, pode-se observar que os padrões de uso de ambos os

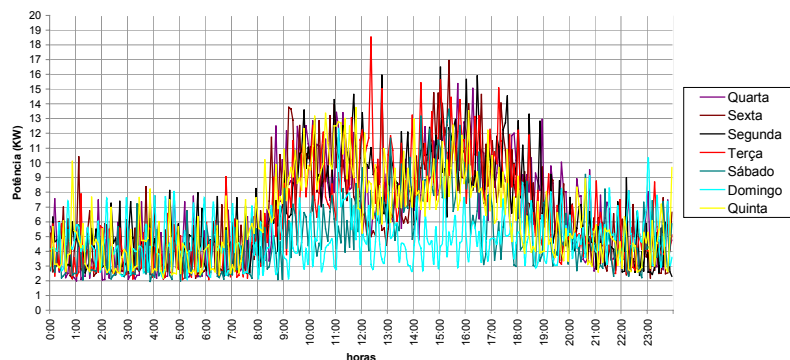


Figura 8 – Curvas de carga do sistema de equipamentos conectados a tomadas no bloco B entre 28/11/2001 e 04/12/2001.

sistemas são praticamente iguais. Os equipamentos começam a ser ligados às 7h30 (iniciando a ocupação) e perto das 12h há uma queda na demanda de energia elétrica. Em torno da 13h30 esta queda começa a ser recuperada, e volta a cair quando se aproxima o final da tarde, até que às 23h a desocupação esteja completa.

A grande variação na demanda de energia do bloco B (de 2 a 6 kW em intervalos de 30 minutos) se deve ao grande número de estufas existentes no Laboratório de Materiais, localizado neste bloco. Na figura 7 nota-se que esta variação não é tão grande, pois na época das medições havia apenas uma estufa operando no bloco A.

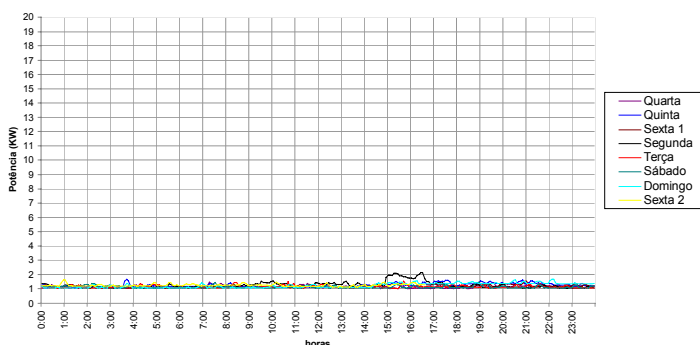


Figura 9 – Curvas de carga dos equipamentos do bloco B monitoradas entre 27/12/2002 e 03/01/2003.

A figura 9, corresponde à medição de energia elétrica em um período de férias coletivas (27/12/2002 a 03/01/2003) caracterizando os prédios desocupados. O pequeno consumo praticamente constante refere-se basicamente aos servidores de rede, ligados 24h por dia.

4.3 Central de Água Gelada (CAG)

Na Central de Água Gelada (CAG) – única para os dois blocos – estão compreendidos todos os equipamentos relativos ao sistema condicionamento de ar (bombas, resfriador de líquido e automação), excluindo-se apenas os ventiladores (*fan-coils*) que estão distribuídos pelos prédios. Como se pode observar nas figuras 10, 11 e 12 o padrão de uso da CAG está associado diretamente ao sistema de automação.

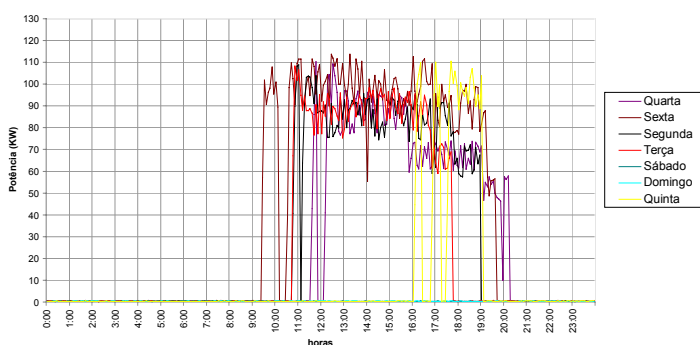


Figura 10 – Curvas de carga do sistema de CAG entre 15/02/2002 e 21/02/2002.

A figura 10 representa as curvas de carga referente a CAG, medidas no período de 15/02/2002 a 21/02/2002. Nos primeiros meses de 2002, devido a falhas no sistema de automação, a operação da CAG ainda era manual, e o horário de acionamento e desligamento variava como demonstra o gráfico de fevereiro de 2002. A potência solicitada pelo sistema ficava em torno de 90 kW, variando entre 50 kW e 110 kW.

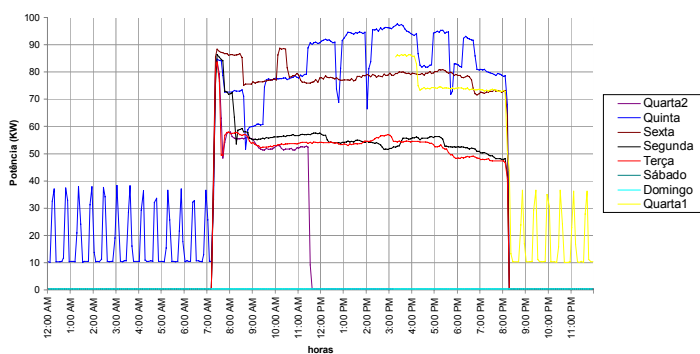


Figura 11 – Curvas de carga do sistema de CAG entre 04/12/2002 e 11/12/2002.

Durante a semana de medição de dezembro de 2002 (figura 11), o resfriador de líquido permaneceu ligado na noite de quarta para quinta-feira, com potência elétrica variando de 10 a 38 kW. O motivo é desconhecido, mas acredita-se que houve um erro em sua programação e como o sistema de ventilação estava desligado neste período, apenas um dos dois compressores do resfriador de líquido entrava em operação, atingindo potência máxima em torno de 38kW.

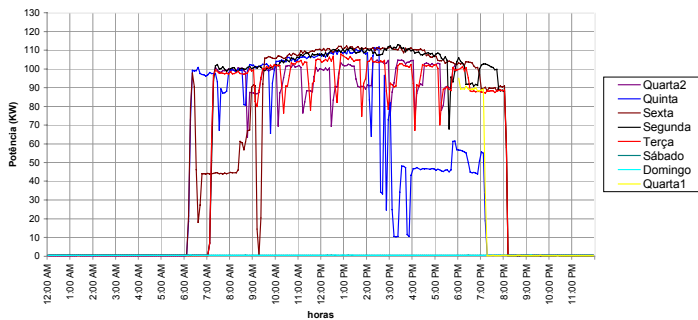


Figura 12 – Curvas de carga do sistema de CAG entre 26/02/2003 e 05/03/2003.

A figura 12 mostra as curvas de carga da CAG no período de 26/02/2003 à 05/03/2003. Nesse período nota-se o funcionamento mais regular e característico de uma CAG automatizada. A hora de acionamento e desligamento no gráfico só não se manteve constante devido à mudança para o horário de verão. As pequenas quedas no consumo e conseqüentes retomadas do mesmo são típicas do funcionamento liga/desliga dos compressores.

4.4 Sistema de Ventilação (*Fan-Coils*)

A figura 13 representa as curvas de carga dos ventiladores do bloco A no período de 13/12/2002 a 20/12/2002. Nota-se nesta figura que os ventiladores no bloco A estão operando corretamente conforme a automação (em conjunto com a central de água gelada).

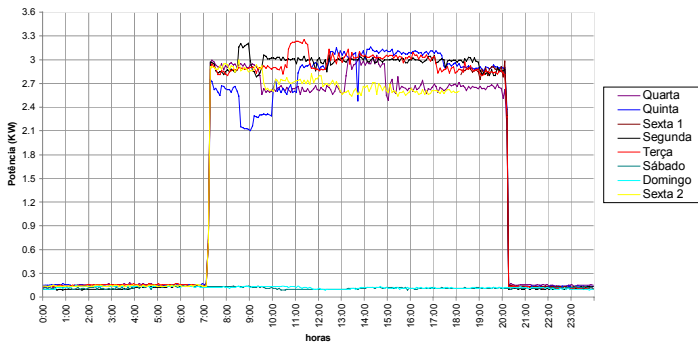


Figura 13 – Consumo medido de ventilação no bloco A de 13/12/2002 a 20/12/2002

Por se tratar de um período quente, os ventiladores estavam operando na capacidade máxima durante todos os dias úteis da semana. As pequenas variações de demanda de energia elétrica ocorriam principalmente pela variação de tensão na rede, e o pequeno consumo fora do horário de funcionamento é correspondente ao sistema de controle dos ventiladores.

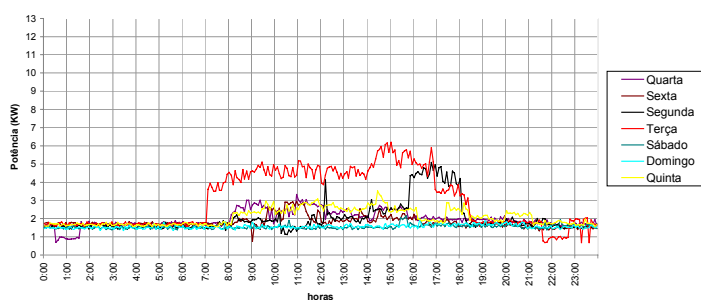


Figura 14 – Consumo medido de ventilação no bloco B de 02/04/2002 a 08/04/2002

A figura 14 mostra as curvas de carga dos ventiladores no bloco B entre 02/04/2002 e 08/04/2002. Em abril de 2002 a operação ainda era manual, e alguns ventiladores ficavam ligados 24 horas por dia. Por se tratar de um período não muito quente, a potência máxima atingida não passou de 6,2 kW.

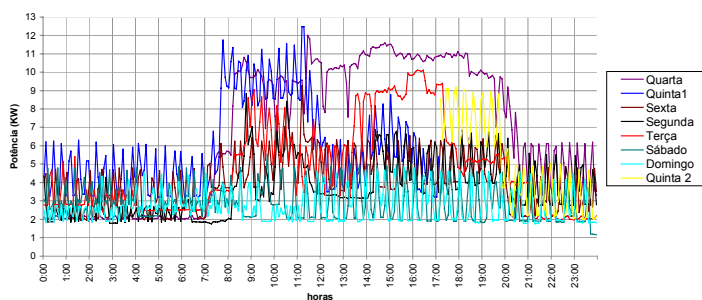


Figura 15 – Consumo medido de ventilação no bloco B de 06/03/2003 a 13/03/2003

Em contrapartida, em março de 2003 a potência máxima registrada foi de 12,5 kW, conforme indica a figura 15, que apresenta as curvas de carga do bloco B no período de 06/03/2003 à 13/03/2003. As figuras referentes ao bloco B indicam falhas na automatização do sistema. A grande demanda de energia fora do período de trabalho (7h às 20h) não é justificável por um controle, como ocorre no bloco A.

O que ocorre, de fato, é que alguns destes ventiladores ficam ligados ininterruptamente, inclusive nos finais de semana e feriados. As curvas de carga indicam que o sistema de automatização dos ventiladores deve ser revisto e sua programação corrigida.

5. CONCLUSÕES

Através do monitoramento da demanda de energia elétrica pode-se verificar o padrão de uso dos prédios e verificar se a eficiência das medidas adotadas está sendo alcançada. Além disso, o acompanhamento das curvas de carga fornece subsídios para o estudo de viabilidade de futuras propostas de *retrofit*.

Algumas medidas podem ser tomadas a partir da análise das curvas de carga, como a sugerida no item 4.1 deste artigo, que indica a utilização de *timers* para o desligamento automático das lâmpadas em horários em que não há ocupação no prédio. Esta medida promoveria uma redução de aproximadamente 40 kWh por dia útil, o que representa 22% do consumo de energia elétrica destinado a iluminação.

As curvas de carga também podem identificar falhas nos equipamentos adotados, indicando uma manutenção e evitando o desperdício de energia. Caso este apresentado no item 4.4, onde foi observado falhas no sistema de automação dos ventiladores, gerando um desperdício aproximado de 35 kWh por dia.

A instalação elétrica dividida por circuitos de uso final, como no prédio da Engenharia Civil facilita o processo de monitoramento e deveria servir como exemplo para novas instalações na UFSC. Outros medidores de energia elétrica deverão ser instalados no campus universitário com o mesmo propósito utilizado neste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HOFFMANN, G. **Simulação térmica e energética de edificações: estudo de caso no departamento de engenharia civil na UFSC**. Relatório final de iniciação científica – Projeto Integrado CNPq. Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, agosto/2002, 27p.
- LEE, A. S. **Auditoria e Simulação Energética de Edificações: estudo de caso no novo prédio do departamento de Engenharia Civil da UFSC**. Relatório final de iniciação científica – Projeto Integrado CNPq. Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, agosto/2001, 24p.
- LEE, A. S.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Verificação da eficiência energética de um edifício de escritórios através de simulação computacional: estudo de caso no departamento de engenharia civil da UFSC. In: VI Encontro Latino - Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2001. **Anais...** São Pedro, SP, 2001. CD-ROM.
- LEE, A. S.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. Calibração de um modelo de simulação através de medições de curto prazo: estudo de caso no departamento de engenharia civil da UFSC. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2002. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, 2002. CD-ROM.