



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO EDIFÍCIO SEDE DA TELEPAR: ANÁLISE ENERGÉTICA E PROPOSTA DE *RETROFIT*

N Mendes; K C Mendonça; H L S M Sanches; C E L Fonseca.

Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Rua Imaculada Conceição, 1155

Curitiba – PR, 80.215-901

E-mail: nmendes@rla01.pucpr.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo promover uma redução no consumo de energia elétrica do prédio da empresa de Telecomunicações do Paraná – TELEPAR – o qual faz parte do projeto 6 cidades supervisionado pelo PROCEL/ELETROBRÁS. Para a modelação do prédio e análise do estudo de retrofit, utiliza-se o software VisualDOE, que é uma interface do software DOE-2, para a simulação energética horária de edificações. Analisa-se também o percentual de calor latente produzido por um filme d'água sobre a laje do prédio.

ABSTRACT

This work has as a goal to reduce the energy consumption of the Headquarters building of the Telecommunications company of the state of Paraná – TELEPAR – which is inserted in the PROCEL/ELETROBRÁS 6-cities project. It was used, for the building modeling and retrofitting analysis, the program VisualDOE which is an interface of the hourly building energy program DOE-2. We also have studied the latent heat effects of a water film on the roof.

1 Introdução

O aumento do consumo de energia elétrica é uma tendência nacional decorrente do crescimento econômico do país e dos hábitos dos usuários que, combinado com os poucos investimentos de expansão da rede geradora de energia, culmina com o déficit no fornecimento de energia elétrica.

As edificações tornaram-se um dos principais objetos de análise voltada a conservação de energia, devido a sua participação no consumo total de energia do país, que representa aproximadamente 42% (Lamberts et al., 1997)

Os programas computacionais se tornaram referências em pesquisas e aplicação de medidas de redução de consumo. O baixo custo, a facilidade de manipulação e a rapidez de processamento desse tipo de ferramenta ampliam os estudos à medida que permite diagnosticar um caso real modelado no programa (o modelo) e avaliar o seu desempenho quando submetido a hipotéticas alterações do seu envoltório, do seu uso, emprego de iluminação e de equipamentos, do seu sistema de condicionamento de ar e da sua demanda contratada de energia.

Neste trabalho, utiliza-se o programa VisualDOE que é um software para análise horária de carga térmica e energética de edificações. O procedimento básico para a simulação no VisualDOE consiste em reproduzir as características de uma edificação numa forma inteligível ao programa, representadas pelas variáveis de entrada (Iluminação por metro quadrado, equipamentos por metro quadrado, capacidades de equipamentos condicionamento de ar etc.).

Para começar a simular de maneira precisa, deve-se primeiramente passar pela etapa de calibração do modelo. A calibração consiste em comparar dados de desempenho real com os de simulação com o objetivo de corrigir as variáveis de entrada para melhorar a fidelidade do modelo.

Após a etapa de calibração do modelo passa-se para a etapa seguinte, que é a do estudo de retrofit, cujo objetivo é propor soluções alternativas (equipamentos mais eficientes, melhor aproveitamento do espaço etc.) para redução de custos associados ao consumo de energia.

2 Modelo

Para a realização da modelação do prédio, foi necessário fazer o levantamento de dados, procurando-se obter informações como:

- Características dos sistemas de condicionamento de ar;
- Características dos sistemas de iluminação;
- Características dos elevadores;
- Características dos equipamentos de escritório
- Forma de ocupação dos ambientes.

De posse dos dados sobre o projeto arquitetônico, foi possível, com auxílio do programa AUTOCAD, inserir a edificação no software. A Fig.1 apresenta em perspectiva o prédio como um todo.

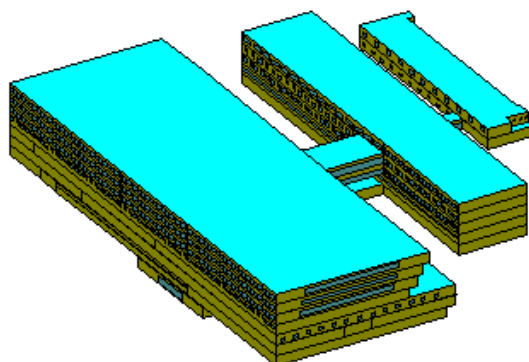


Fig.1 Perspectiva Tridimensional do Prédio da Telepar

Nas características dos sistemas de climatização buscou-se informação quanto ao nº e tipo de equipamentos instalados, tais como *self*, *fan-coil's* e *chiller's* dentre outros, suas capacidades de refrigeração, vazões e horários de funcionamento.

Para os sistemas de iluminação verificou-se a quantidade e o consumo de lâmpadas de cada departamento e também o período em que permaneciam ligadas.

Nas características dos elevadores levou-se em consideração o consumo de energia global, ou seja, o conjunto composto por freios, motores, geradores etc.

De maneira similar procurou-se saber a quantidade de equipamentos de escritório (microcomputadores, máquinas de escrever elétrica, impressoras etc.) que cada departamento dispunha, quanto tempo ficavam ligados e qual era o consumo de cada equipamento. A forma de ocupação do prédio foi um dos aspectos mais difíceis de ser determinado, visto que varia de dia para dia a quantidade de pessoas que estão presentes no prédio, porém após uma série de consultas ao RH – Departamento de Recursos Humanos - da empresa, conseguiu-se chegar a um valor de ocupação por metro quadrado com uma margem pequena de erro. Uma peculiaridade do prédio analisado é um filme d'água sobre a laje do prédio, a qual é analisada neste trabalho.

3 Calibração do Modelo

Após levantar-se todos os dados de iluminação (LPD - Lighting Power Density), equipamentos de escritório (EPD - Equipment Power Density), equipamentos de climatização (HVAC - Heating, Ventilating and Air Conditioning), começou-se a fazer a calibração do modelo no VisualDOE, a qual trata-se de avaliação e acertos de variáveis de entrada.

Inicialmente, lançou-se os valores de consumo e demanda do prédio do ano de 1997. Estes dados foram obtidos junto a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL). Após ter-se lançado estes dados executou-se o programa para fazer interpretação de todos os valores de LPD, EPD, HVAC e outros, a fim de gerar uma curva de consumo e então compara-la com o caso real, obtido dos dados fornecidos pela COPEL.

Cabe-se destacar que a quantidade de horas que os equipamentos ficam em funcionamento é uma informação vital para a calibração do modelo, uma vez que o software possui um recurso (SCHEDULE EDITOR) onde se entra com todas as informações de horário de funcionamento dos equipamentos, faixa de temperaturas de

operação dos sistemas de aquecimento e resfriamento de ar etc. Estes horários cadastrados no SCHEDULE EDITORES são utilizados para se calcular o consumo de energia gasto pelo prédio, durante os 365 dias do ano. A Fig. 2 apresenta uma comparação entre as curvas real e simulada mostrando que o modelo apresenta-se calibrado.

Salienta-se que se estes horários não estão bem definidos, o modelo torna-se falho, isto é, não condiz com a realidade da edificação. Desta forma, a calibração é uma etapa de grande responsabilidade e deve ser feita de forma criteriosa. Pedrini (1997) apresenta técnicas de calibração para simulação de edifícios.

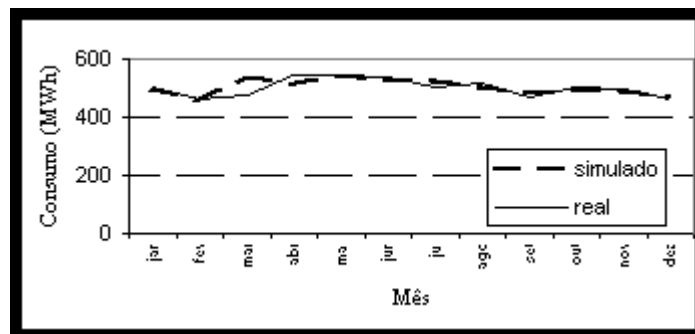


Fig.2 Comparação do consumo mensal de energia elétrica real com o consumo simulado pelo VisualDOE

Credita-se a diferença encontrada referente ao mês de março à imprecisão de dados sobre a ocupação do prédio (*schedule*).

4 Resultados e Discussões

Após calibrado o modelo, passou-se a etapa de simulação de alternativas para proporcionar uma redução do consumo de energia na edificação.

Primeiramente, constatou-se que o sistema de iluminação é ineficiente e inadequado às condições de trabalho. Adicionalmente, levantou-se através do VisualDOE o percentual de consumo por uso final da edificação conforme mostrado na Fig. 3, podendo-se notar que a iluminação é responsável por 27% do consumo total.

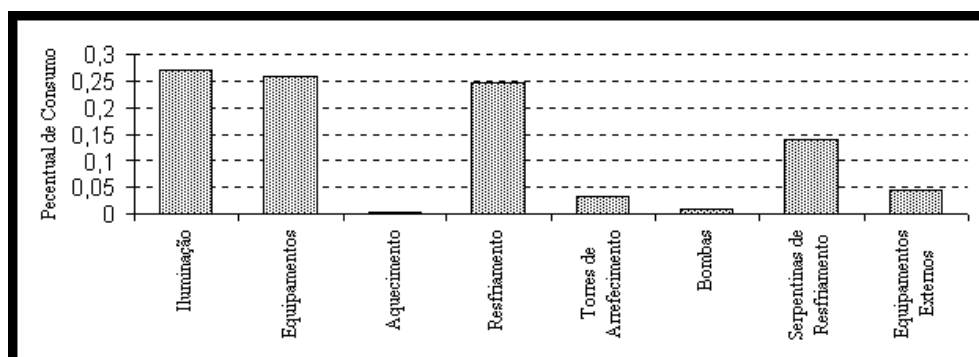


Fig. 3 Percentual de consumo de energia por uso final

Desta forma, procurou-se executar uma simulação com a troca de todo o sistema de iluminação presente na edificação. Para a realização desta hipótese, contou-se com o auxílio de uma empresa especializada em projetos luminotécnicos, haja vista a

necessidade de se fazer um novo projeto luminotécnico com luminárias e lâmpadas mais eficientes e de menor consumo de energia.

Inicialmente, propôs-se a utilização de luminárias aletadas com lâmpadas de 32W, proporcionando uma redução de aproximadamente 12 mil reais por ano; o que é equivalente a uma redução de consumo de iluminação em torno de 46%.

O grande impecílio para esta hipótese se tornar realidade está relacionado com o tempo de retorno do investimento, que será de aproximadamente 9 anos. Tentou-se realizar uma segunda hipótese, com a utilização de lâmpadas de 28W, porém não foi viável devido ao fato de que esta fazia com que o tempo de retorno do investimento se tornasse muito maior do que 9 anos.

4.1 AVALIAÇÃO DO EFEITO DO FILME D'ÁGUA

Para estudar o efeito do filme d'água, pode-se representar o fenômeno como mostrado na Fig. 4.

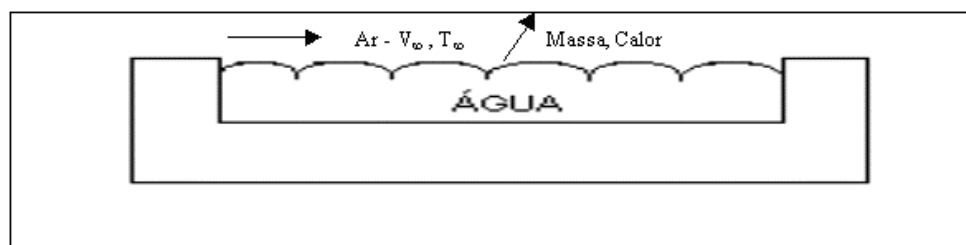


Fig. 4 Modelo físico para o filme d'água

Pode-se demonstrar que a soma das parcelas de calor sensível e latente em um filme d'água como aquele mostrado na Fig. 4 é dado pela eq. 1 (Stoecker e Jones, 1985),

$$q_t'' = \frac{h_c}{c_{pu}} (h_i - h_\infty) \quad (1)$$

Onde,

$$c_{pu} = c_{p,ar} + W_\infty c_{p,v} \quad (2)$$

Assim, pode-se escrever a relação:

ou

$$\frac{q_t''}{q_s''} = \frac{1}{c_{pu}} \left(\frac{c_p(T_i) + W_i h_g(T_i) - c_p(T_\infty) - W_\infty h_g(T_\infty)}{T_i - T_\infty} \right) \quad (3)$$

Afim de estimar a grandeza do efeito latente para diferentes umidades relativas, adota-se para Curitiba ($P_t = 92\text{kPa}$) condições tanto para o verão ($T_i = 29^\circ\text{C}$ e $T_\infty = 32^\circ\text{C}$) como para o inverno ($T_i = 13^\circ\text{C}$, $T_\infty = 10^\circ\text{C}$), obtendo-se através da equação 3 as curvas apresentadas na figura abaixo.

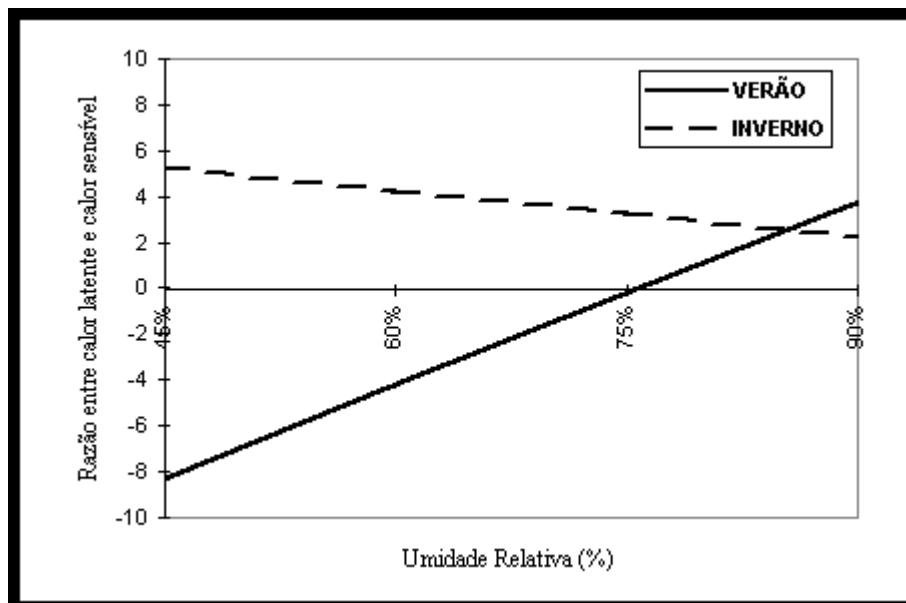


Fig. 5 Razão entre calor latente e calor sensível para a película d'água esquematizada na Fig. 4

Nota-se pelos valores mostrados que durante o inverno, a razão entre o calor latente e o calor sensível é sempre positiva, significando que os fluxos estão no mesmo sentido, ambos resfriando o ambiente, o que é indesejável. No verão, porém, para as condições analisadas, nota-se que a película é favorável a redução de consumo de energia se a umidade do ar for inferior a 75%.

5 Conclusões

Notou-se com este trabalho que o software VisualDOE é adequado para a realização de estudos de simulação como este, pois além de permitir modelar toda arquitetura do prédio, permite que se leve em conta as mais diferentes variáveis ao nível horário tais como equipamentos de climatização, iluminação etc. Entretanto algumas falhas estão presentes, como na dificuldade para se levar em conta os efeitos de transferência simultânea de calor e de massa. Observou-se que esta diferença pode ser significativa, pois se estima que o calor latente pode ser muito superior ao calor sensível e em sentido contrário, principalmente para umidades baixas. Por outro lado, no inverno, a película d'água pode ser indesejável.

O prédio de Telecomunicações do Paraná (TELEPAR) é um candidato de grande potencial para a aplicação de novos métodos e equipamentos que auxiliem na redução do consumo de energia. A redução de 46% no LPD ocasionou uma redução de cerca de 2,5% no resfriamento, entretanto o consumo com climatização continua elevado. Assim, para trabalhos futuros, sugere-se o estudo alternativo da instalação de controladores entálpicos, pois se acredita que o clima é adequado para isto.

6 Referências Bibliográficas

Lamberts, R. (1997): Eficiência Energética em Edificações, PW-Editores, São Paulo-SP.

Pedrini, A. (1997): Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética, Tese de Mestrado, UFSC, Florianópolis-SC.

Stoecker, W. F. e Jones, J.W. (1985): Refrigeração e Ar Condicionado, McGraw Hill do Brasil.

7 Nomenclatura

q_t'' - densidade superficial de fluxo de calor total (sensível e latente) [W/m^2]

q_s'' - densidade superficial de fluxo de calor sensível [W/m^2]

h_c - coeficiente de troca de calor por convecção [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

h_i - entalpia do ar a temperatura T_i [kJ/kg]

h_∞ - entalpia do ar a temperatura T_∞ [kJ/kg]

h_g - entalpia do vapor d'água saturado [kJ/kg]

T_i - temperatura da água [$^\circ C$]

T_∞ - temperatura do ar [$^\circ C$]

c_{pu} - calor específico do ar úmido [$kJ/kg \cdot K$]

c_{par} - calor específico do ar seco [$kJ/kg \cdot K$]

W_i - umidade absoluta a temperatura T_i [kg/kg]

W_∞ - umidade absoluta a temperatura T_∞ [kg/kg]