

SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO SEDE DA FIESC: ESTUDO DE *RETROFIT* NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

WESTPHAL, Fernando S. (1); GHISI, Enedir (2); LAMBERTS, Roberto (3)

(1) Acadêmico Eng. Civil, pesquisador do LabEEE. E-mail: fernando@npc.ufsc.br

(2) Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia, pesquisador do LabEEE. E-mail: ecv3egh@ecv.ufsc.br

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

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

NPC – Núcleo de Pesquisa em Construção
UFSC – CTC – ECV – NPC – CEP 88040-900 – Cx. Postal 476

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação de conservação de energia elétrica através de um estudo de *retrofit* no sistema de iluminação no edifício sede da FIESC - Federação das Indústrias de Santa Catarina - localizado em Florianópolis, Santa Catarina. A análise de redução no consumo de energia após o *retrofit* é feita analiticamente (utilizando o percentual de redução na potência instalada e o uso final em iluminação) e através de simulações energéticas, com o programa VisualDOE.

1 INTRODUÇÃO

O edifício sede da FIESC, inaugurado em 1983, está entre os 15 maiores consumidores de energia elétrica horo-sazonais, A4, da grande Florianópolis. Seu consumo anual de energia elétrica é de 100,71 kWh/m², ou seja, 1,10 GWh anuais, para uma área total edificada de 10.900 m². O prédio apresenta um formato regular (quadrado de 50 x 50 metros) e possui quatro pavimentos. No seu centro há um vão de 20 x 20 metros coberto por 49 domos de acrílico. Há ainda um bloco anexo de 900 m², onde funciona um restaurante e a administração do prédio. Atualmente o edifício está sendo estudado no Projeto 6 Cidades, coordenado pelo PROCEL. Mais detalhes quanto a caracterização do edifício podem ser encontrados em **WESTPHAL (1997)**. A Figura 1 mostra a fachada principal do prédio.

Com base nas informações extraídas das contas de energia elétrica, e nas curvas de carga obtidas através da memória de massa do ano de 1996, estima-se que o sistema de climatização artificial do prédio seja responsável por 38% da energia elétrica total consumida em um ano. O sistema de iluminação e outros equipamentos, seriam então, responsáveis por 62% do consumo de eletricidade anual do prédio. A partir de informações prestadas por usuários do prédio e do levantamento *in loco* de potência instalada em iluminação e equipamentos, estima-se que o uso final em iluminação seja em torno de 53%.

O estudo de *retrofit* é baseado na instalação de componentes energeticamente mais eficientes, ao mesmo tempo em que se procura manter os níveis médios de iluminância recomendados pela NBR 5413 – *Iluminância de Interiores* (**ABNT, 1991**).

A avaliação dos resultados obtidos, com a implantação de um novo sistema de iluminação, é feita utilizando-se o percentual de redução na potência instalada e o uso

final em iluminação, e a partir de simulações energéticas através do programa VisualDOE.



Figura 1– Fachada principal do prédio (oeste).

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de conservação de energia elétrica através de um estudo de *retrofit* no sistema de iluminação do Edifício Sede da FIESC.

3 METODOLOGIA

3.1 Análise do atual sistema de iluminação

A análise do atual sistema de iluminação é feita através do levantamento de potência instalada em iluminação, e dos níveis médios de iluminância encontrados em cada ambiente do prédio. A classificação dos ambientes é feita de acordo com as atividades desenvolvidas.

O levantamento de potência instalada é feito através de contagem de lâmpadas, atribuindo-se 30 % sobre a potência nominal de cada lâmpada fluorescente, referente ao consumo dos reatores.

As medições de iluminância são feitas com luxímetro digital da marca *Minipa*, modelo MLM-1332. Por não haver nenhum funcionário do prédio que possa acompanhar os trabalhos durante a noite, as medições são realizadas no período diurno. Portanto, são escolhidas salas e locais representativos para cada tipo de ambiente, que não sofram interferência da luz natural. Para ambientes muito grandes, as medições são realizadas em uma malha de pontos determinada em uma área representativa. Nos demais ambientes, por apresentarem dimensões razoáveis, são distribuídos pontos por toda área da sala. As medições são feitas na altura da superfície de trabalho.

3.2 Criação do modelo no VisualDOE

Paralelamente ao levantamento das características do projeto luminotécnico atual do prédio, realiza-se uma coleta de informações e características arquitetônicas, necessárias a montagem do modelo que represente o prédio na simulação energética no programa VisualDOE.

São levantados dados de ocupação do prédio; potência instalada; características arquitetônicas, como o tamanho das esquadrias, tipo de vidro, tipo de cobertura, composição das lajes e paredes; e informações sobre a operação dos diversos sistemas consumidores de energia elétrica do prédio.

No VisualDOE, a caracterização do edifício é feita através de zonas. As zonas são criadas de acordo com a ocupação e climatização das salas. As salas que possuem o mesmo sistema de refrigeração, e a mesma rotina de trabalho durante o ano, são agregadas em uma mesma zona.

Um dos pontos mais importantes na montagem do modelo virtual do prédio, é a caracterização da ocupação, e do funcionamento dos sistemas elétricos instalados. No VisualDOE, a representação dos padrões de uso de cada sistema do prédio é feita através de *schedules*. No caso do edifício sede da FIESC, as *schedules* foram obtidas através de análises das curvas de carga, plotadas a partir da memória de massa do ano de 1996, e das informações prestadas por funcionários do prédio.

Monta-se o modelo que será simulado no VisualDOE e realiza-se algumas simulações para calibrá-lo, a partir de dados de consumo de energia elétrica fornecidos pelos relatórios do programa, e dos dados reais de consumo de eletricidade do prédio. Nessa etapa de calibração, as simulações são feitas utilizando-se o arquivo climático do ano de 1995 para a cidade de Florianópolis. Portanto, a calibração é feita através do uso dos dados de consumo de energia elétrica do prédio para esse mesmo ano. O modelo calibrado é chamado de Caso Base.

3.3 O projeto luminotécnico

Um novo projeto luminotécnico é feito empregando-se os níveis médios de iluminância para cada ambiente, recomendados pela NBR 5413, de acordo com as atividades desenvolvidas e com a idade das pessoas que as desenvolvem. Quanto aos componentes do novo sistema de iluminação, é feita uma análise da eficiência energética e da relação custo/benefício que eles proporcionam.

O novo sistema de iluminação é calculado através do Método dos Lúmens Simplificado, proposto por **GHISI (1997)**. Para aplicar o método de cálculo escolhido, as salas são classificadas de acordo com as atividades desenvolvidas. A caracterização do sistema de iluminação no VisualDOE é feita através da potência instalada por metro quadrado para cada zona. Portanto, é calculado o número de luminárias e lâmpadas para cada ambiente, determinando-se o índice de potência instalada em iluminação por unidade de área.

As lâmpadas são escolhidas analisando-se principalmente a eficiência luminosa (lm/W), vida útil e o tipo de ambiente a que se destinam. Os reatores são escolhidos de acordo com o fator de potência e perdas de energia que provocam.

As luminárias são selecionadas de acordo com a eficiência, direcionamento do fluxo e facilidade de manutenção e limpeza.

3.4 Simulação do prédio com o sistema de iluminação pós-retrofit

Com os dados de potência instalada em iluminação após o novo projeto luminotécnico, é criada, no VisualDOE, uma alternativa de *retrofit* a ser simulada. Essa alternativa utiliza os mesmos dados do modelo calibrado, com exceção da potência instalada em iluminação, que é a obtida com o novo projeto. Para a simulação da alternativa de

retrofit, é utilizado um ano climático de referência (TRY) e não um ano climático real, de maneira que os resultados obtidos estejam mais próximos de uma média. O ano climático de 1995 é utilizado apenas para calibrar o modelo que representa o prédio com o sistema de iluminação atual.

Um fator muito importante da simulação energética, é que a redução no consumo anual de energia elétrica, após o *retrofit* no sistema de iluminação, é obtido não só devido a redução da potência instalada em iluminação, como também pela redução da carga térmica, que afetará o consumo de refrigeração do prédio.

4 RESULTADOS

4.1 Características do atual sistema de iluminação

No levantamento de dados realizado no prédio, consta que o sistema de iluminação atual é composto basicamente por lâmpadas fluorescentes de 40 W e reatores duplos de partida rápida. As luminárias possuem refletor pintado na cor bege e são embutidas no forro, como mostram as Figuras 2 e 3, dificultando a manutenção. Atualmente, esse sistema necessita de constantes reparos, pois a vida útil dos reatores está se esgotando, visto que o sistema opera desde 1983.

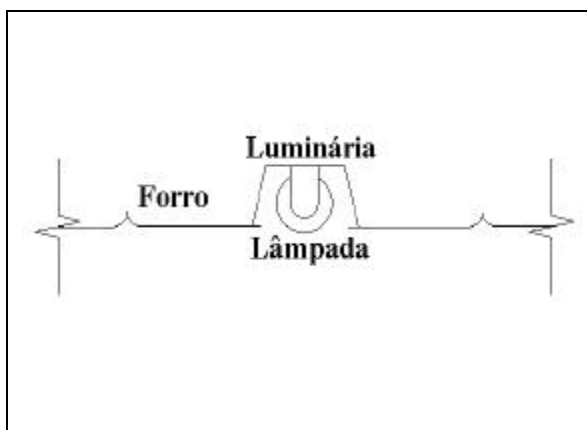


Figura 2 - Perfil da luminária.



Figura 3 - Sistema de iluminação

Existem ainda, lâmpadas incandescentes de 60 W, tipo spot, sobre os espelhos dos lavatórios dos sanitários e no restaurante executivo, cuja iluminação é feita apenas por esse tipo de lâmpada.

No primeiro pavimento, e em parte do segundo, a iluminação é acionada por interruptores existentes no próprio quadro de distribuição do andar, sendo que cada interruptor liga mais de um circuito ao mesmo tempo. O resultado do preliminar levantamento de dados é visto na Tabela 1.

O estudo de *retrofit* não abrange 100 % da área do prédio, pois existem dependências de serviço e áreas de circulação que não necessitam de reformas no sistema de iluminação, por apresentarem baixa potência instalada e níveis de iluminância de acordo com as atividades desenvolvidas. Para o projeto luminotécnico, a área de cada ambiente é calculada pelas dimensões internas, portanto não são considerados os espaços ocupados por paredes.

Tabela 1 – Potência instalada em iluminação e níveis médios de iluminância para cada tipo de ambiente

Ambiente	Área (m ²)	% do total	Potência instalada (W/m ²)	Iluminância média (lux)
Auditório (platéia)	513,31	4,7	19,5	295
Auditório (tribuna)	84,28	0,8	16,0	509
Circulação	1.424,88	13,1	16,2	269
Cozinhas	221,59	2,0	12,9	180
Sanitários	275,58	2,5	25,6	142
Escritórios	6.163,60	56,5	16,7	329
Restaurante	832,54	7,6	16,5	72
Total	9.515,78	87,3	16,9	

4.2 Calibração do modelo no VisualDOE

A Tabela 2 faz uma comparação entre o consumo mensal de energia elétrica do prédio e o consumo de energia estimado pela simulação. Vê-se que no período de inverno, o modelo mostra-se mais próximo da realidade, com diferença máxima mensal de 8,1%, do que no verão, onde ocorre uma diferença de 16,2% no mês de janeiro. Essa diferença de acuracidade entre os dois períodos, verão e inverno, deve-se principalmente ao sistema de refrigeração, que funciona mais no verão, e possui um funcionamento mais imprevisível que qualquer outro sistema do prédio. Porém, a diferença percentual entre o consumo total do prédio é de apenas 0,6%.

Tabela 2 – Comparação entre o consumo mensal de energia elétrica real e estimado pela simulação.

Mês	Consumo real (kWh)	Consumo simulado (kWh)	Variação (%)
Janeiro	108.305	125.890	16,2
Fevereiro	122.284	106.421	-13,0
Março	122.131	125.953	3,1
Abril	96.245	94.723	-1,6
Maio	86.100	88.423	2,7
Junho	51.855	51.721	-0,3
Julho	52.924	52.563	-0,7
Agosto	60.574	55.638	-8,1
Setembro	57.727	50.371	-12,7
Outubro	67.764	68.673	1,3
Novembro	101.001	106.694	5,6
Dezembro	108.326	114.567	5,8
Total	1.035.236	1.041.637	0,6

A Tabela 3 mostra o uso final de energia elétrica calculado após o levantamento de dados de potência instalada e ocupação do prédio e o uso final verificado através da simulação. Percebe-se que a diferença é pequena, e até desprezível, o que também confirma a calibração do modelo simulado.

Tabela 3 – Comparação entre o uso final de energia elétrica calculado e o uso final estimado pela simulação.

Sistema	Uso final Calculado (%)	Uso final Simulado (%)	Variação (%)
Iluminação	53	52	-1,9
Ar condicionado	38	40	5,0
Equipamentos	9	8	-12,5

4.3 Características do novo projeto luminotécnico

Para os auditórios, cozinhas e escritórios, são escolhidas lâmpadas fluorescentes de 32 W (fluxo luminoso de 3050 lm), para compor o novo sistema de iluminação. Para áreas de circulação e sanitários, as lâmpadas escolhidas são as fluorescentes de 16 W (1200 lm). Todas as lâmpadas fluorescentes adotadas são do tipo T8. Os reatores escolhidos são todos eletrônicos, duplos. Portanto, no novo sistema não há consumo de energia elétrica (perdas) por parte dos reatores.

Para todos os ambientes, adotou-se luminárias duplas com refletor de alumínio e sem aletas, com exceção apenas do restaurante executivo, cuja iluminação atual, feita por lâmpadas incandescentes de 60 W, será trocada por lâmpadas fluorescentes compactas de 11 W (900 lm), aproveitando-se as luminárias existentes. No outro restaurante, que atende aos funcionários do prédio, a iluminação será feita por lâmpadas fluorescentes de 32 W.

Segundo a NBR 5413, a iluminância média desejada para restaurantes, sanitários e platéias de auditórios é de 150 lux. Para as cozinhas e a tribuna do auditório, a iluminância deve ser de 500 lux. E para as áreas de circulação, 100 lux. Quanto aos escritórios, a norma não é muito clara, citando apenas três tipos de escritórios, que não se enquadram no caso em estudo. Como o atual sistema de iluminação do prédio, proporciona aproximadamente 330 lux nos ambientes de escritórios, e não há reclamações de desconforto por parte dos usuários, adotou-se no novo projeto, iluminância média de 400 lux para esses ambientes.

A Tabela 4 mostra a redução na potência instalada e os níveis médios de iluminância obtidos com o novo projeto. A iluminância é calculada para o sistema em início de operação (Novo) e após 2 anos de funcionamento (24 meses), que é o período de manutenção adotado no projeto. Para os ambientes que possuem mais de uma sala no prédio, é apresentado o intervalo dos níveis médios de iluminância obtidos no conjunto de salas.

Tabela 4 – Iluminâncias médias e potência instalada para o novo sistema de iluminação.

Ambiente	Potência (W/m ²)	Iluminância (lux)		Redução na potência instalada (%)
		Novo	24 meses	
Auditório (platéia)	3,0	204 - 206	164 - 187	84,6
Auditório (tribuna)	9,1	503	403	43,2
Circulação	2,2	121 - 204	97 - 163	86,1
Cozinhas	11,0	649 - 783	519 - 626	15,0
Sanitários	8,8	216 - 431	173 - 345	65,5
Escritórios	7,9	461 - 685	369 - 548	52,7
Restaurantes	3,0	188 - 193	151 - 155	81,8
Total	6,5	-	-	61,8

Reduzindo-se em média 61,8% na potência instalada em iluminação, e sabendo-se que o uso final de energia elétrica em iluminação é de aproximadamente 52%, deduz-se que o novo sistema proporcionará uma redução anual de 32% no consumo de eletricidade do prédio. Porém, esse cálculo simples e rápido não considera a redução no consumo de energia por parte do sistema de climatização artificial.

Cabe salientar que neste estudo de *retrofit*, não é feita nenhuma análise aprofundada quanto a disposição de luminárias, tendo em vista as constantes alterações de *layout* que as salas do prédio sofrem, através da instalação e remoção de divisórias de madeira. O objetivo principal deste trabalho é determinar o potencial de conservação de energia elétrica instalando-se um novo sistema de iluminação, com equipamentos mais eficientes, respeitando-se os níveis médios de iluminância propostos pela NBR 5413. No momento da execução do projeto, cada sala será analisada individualmente para que se determine a disposição das luminárias.

4.4 Redução no consumo de energia elétrica do prédio após o *retrofit*

A Tabela 5 mostra os resultados da simulação do modelo calibrado e da alternativa de *retrofit*, com os novos dados de potência instalada em iluminação.

Observando os resultados da simulação, percebe-se a diferença que há entre determinar a redução no consumo de energia analiticamente (utilizando o percentual de redução na potência instalada e o uso final em iluminação) e através de simulações energéticas. Após a simulação verificou-se que a redução no consumo de energia é um pouco maior, aproximadamente 35%, favorecendo a possibilidade de implantação do *retrofit*.

Essa diferença de 3 pontos percentuais no total de conservação de energia elétrica entre uma análise e outra, é decorrente do fato de que o VisualDOE considera, também, a redução na carga térmica interna do prédio e a conseqüente redução no consumo de refrigeração do edifício. Analisando-se os relatórios de uso final de eletricidade emitidos pelo VisualDOE, percebeu-se que o consumo de energia elétrica em refrigeração caiu 14% com o novo sistema de iluminação.

Tabela 5 – Consumo mensal de energia elétrica do Caso Base e do pós-*retrofit*.

Mês	Consumo de energia elétrica (kWh)		Redução no consumo (%)
	Caso Base	Pós- <i>retrofit</i>	
Janeiro	125.624	89.973	-28,4
Fevereiro	108.090	76.837	-28,9
Março	126.577	89.958	-28,9
Abril	94.885	64.188	-32,4
Mai	82.264	50.622	-38,5
Junho	51.721	25.899	-49,9
Julho	52.563	26.331	-49,9
Agosto	55.638	27.763	-50,1
Setembro	50.371	25.251	-49,9
Outubro	70.555	41.631	-41,0
Novembro	105.136	72.107	-31,4
Dezembro	109.726	76.439	-30,3
Total	1.033.150	666.999	-35,4

4.5 Tempo de retorno do investimento inicial no *retrofit*

O tempo de recuperação do capital investido (ou *Payback Time*), quando calculado para a redução anual de 32% no consumo de energia, é de 15 meses, enquanto que, para 35% de redução no consumo, o *payback* é de 14 meses.

5 CONCLUSÕES

O edifício sede da FIESC apresenta um potencial de conservação de energia elétrica de 35% através de um *retrofit* em iluminação. O período de retorno do investimento de instalação do novo sistema é de aproximadamente 14 meses.

A redução no consumo de energia elétrica em refrigeração do prédio, após o *retrofit* no sistema de iluminação, é de 14%. No consumo total de eletricidade do prédio, esse valor representa apenas 3% de redução. O que demonstra que a carga térmica em iluminação é baixa quando comparada com as demais cargas térmicas do edifício.

Após um *retrofit* no sistema de iluminação de um edifício de grande porte, como o edifício em questão, deve-se fazer também, uma avaliação e possíveis ajustes no sistema de refrigeração, de acordo com a nova carga térmica interna.

Dando continuidade ao estudo de *retrofit* do prédio, pretende-se avaliar o atual sistema de climatização artificial, simulando-se possíveis alternativas de *retrofit* para o sistema. A princípio, determina-se a eficiência dos resfriadores de líquido através de medições simultâneas do consumo de energia elétrica e das temperaturas de entrada e saída da água gelada. Um levantamento preliminar do sistema secundário de climatização artificial revelou uma manutenção prejudicada pela falta de peças de reposição. A regulação automática da vazão de ar para as salas está desativada e a operação é feita manualmente. Pretende-se estudar um novo sistema de automação que controle todo o processo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1991). *NBR 5413 – Iluminância de Interiores*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 13 p.
- CASAROTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. (1992). *Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão*. 5ª edição, Vértice, Editora Revista dos Tribunais, São Paulo, p. 99-100.
- GHISI, E (1997). *Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, agosto/97, 246 p.
- WESTPHAL, F. S. (1997). *Avaliação energética predial do edifício sede da FIESC – Projeto 7 Cidades*. Relatório Interno. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Núcleo de Pesquisa em Construção, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, setembro/97, 12 p.