

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA RETROFIT EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

GHISI, EneDir (1); LAMBERTS, Roberto (2)

(1) Eng^o Civil, Mestre em Engenharia, Pesquisador do LabEEE
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
UFSC - CTC - ECV - NPC - CEP 88040-900 - Cx. Postal 476
Fone: (048) 331-9598 Ramal 26; E-mail: ecv3egh@ecv.ufsc.br
(2) Eng^o Civil, PhD, Professor do Depto. de Eng. Civil
UFSC - CTC - ECV - NPC - CEP 88040-900 - Cx. Postal 476
Fone: (048) 331-7090; E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar, de forma clara e objetiva, uma metodologia para estudos de *retrofit* em sistemas de iluminação. O sistema de iluminação artificial é avaliado através da verificação dos equipamentos instalados e da iluminância proporcionada. Através de uma análise de mercado verifica-se os equipamentos eficientes disponíveis e realiza-se o projeto luminotécnico dos ambientes determinando o potencial de conservação de energia elétrica na edificação em função da alteração do sistema de iluminação artificial e do aproveitamento da iluminação natural. A metodologia é encerrada com a análise de luminâncias e da avaliação econômica para verificar a viabilidade da realização do *retrofit* no sistema de iluminação frente à redução proporcionada pelo novo sistema nas tarifas de energia elétrica.

1. INTRODUÇÃO

Retrofit é o termo utilizado, em sua forma original, para definir qualquer tipo de reforma. No entanto, entre os profissionais e pesquisadores envolvidos com eficiência energética em edificações o termo é utilizado para definir alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica visando a sua conservação. Neste trabalho, o termo é utilizado para definir, especificamente, a alteração de sistemas de iluminação através da utilização de tecnologias energeticamente eficientes, como lâmpadas, luminárias e reatores de qualidade, visando a conservação de energia elétrica sem detrimento da satisfação e conforto do usuário (GHISI, 1997).

Atualmente, estudos visando *retrofit* em sistemas de iluminação têm sido realizados em todo o mundo. No entanto, a metodologia adotada nestes estudos dificilmente é apresentada, causando a impressão que os pesquisadores estão interessados apenas em apresentar dados de conservação de energia elétrica em edificações e o procedimento adotado para se obter estes resultados é colocado em segundo plano ou não é importante, o que não é verdade. Desta forma, este trabalho pretende alertar que *retrofit* em sistemas de iluminação é algo muito mais abrangente do que a simples substituição de lâmpadas ineficientes por outras energeticamente eficientes.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia detalhada para elaboração de estudos que visem *retrofit* em sistemas de iluminação e a conseqüente eficiência

energética em edificações. A metodologia aqui apresentada foi desenvolvida por este autor em sua dissertação de mestrado (GHISI, 1997).

3. METODOLOGIA

Esta metodologia baseia-se na determinação de usos finais de eletricidade na edificação, na avaliação do atual sistema de iluminação artificial e nos ganhos de iluminação natural, na reelaboração do projeto luminotécnico, na avaliação do potencial de conservação de energia elétrica, na avaliação econômica para verificação da viabilidade econômica do *retrofit* e na avaliação pós-*retrofit*.

3.1. Determinação de usos finais

Retrofits visando eficiência energética em edificações exigem, primeiramente, a determinação do uso final de energia elétrica, ou seja, o percentual relativo ao consumo de sistemas de iluminação, de equipamentos de ar condicionado, de equipamentos de computação, de elevadores, de bombas d'água etc. Por sua vez, a determinação do uso final exige o levantamento do consumo global da edificação (através da concessionária ou das tarifas de energia elétrica), além da potência instalada e do regime de utilização dos respectivos sistemas (através de levantamento *in loco*) sempre que não for possível a determinação do consumo isoladamente para cada sistema através de medições.

Nos casos em que o foco de interesse é apenas a iluminação, não há necessidade de se determinar os usos finais com os demais equipamentos ou sistemas. No entanto, recomenda-se a sua determinação como forma de verificar todo o uso da eletricidade na edificação.

3.2. Avaliação do sistema de iluminação artificial

A avaliação do sistema de iluminação envolve a determinação dos equipamentos instalados, a medição e a avaliação dos níveis de iluminação e a medição das refletâncias das superfícies internas.

3.2.1. Equipamentos instalados

Através de visita à edificação determina-se a quantidade e a qualidade das lâmpadas, luminárias e reatores instalados, verificando, desta forma, a potência instalada em iluminação. Esta potência deve ser determinada isoladamente para ambientes em que se desenvolvem diferentes atividades visuais, como por exemplo, escritórios, auditórios, copas, banheiros, corredores etc. Também deve-se verificar a variação da densidade de iluminação para ambientes com mesmas atividades mas com diferentes dimensões.

3.2.2. Medição dos níveis de iluminação artificial

Jamais deve-se pensar na possibilidade de realização de *retrofit* em um sistema de iluminação sem a medição dos atuais níveis de iluminação artificial pois o sistema de iluminação é projetado para atender as necessidades visuais dos usuários.

As medições devem ser realizadas durante a noite para evitar-se a influência da iluminação natural nos resultados. A *NBR 5382 – Verificação de iluminância de*

interiores (ABNT, 1985) apresenta a forma de determinação da iluminância média em superfícies de trabalho em interiores de áreas retangulares. Deve-se atentar que medições através de malhas de pontos podem proporcionar resultados equivalentes, conforme verificado na citada dissertação de mestrado. Também sugere-se que os níveis de iluminação artificial sejam determinados isoladamente para ambientes com diferentes atividades.

A medição dos níveis de iluminação para cada tipo de ambiente, bem como da verificação da densidade de iluminação permite a determinação da eficiência luminosa do atual sistema de iluminação (equação 1).

$$\varepsilon = E/P \quad (1)$$

onde:

- ε é a eficiência luminosa do sistema de iluminação (lm/W);
- E é a iluminância média do ambiente (lux);
- P é a densidade de iluminação (W/m^2).

3.2.3. Avaliação dos níveis de iluminação artificial

Através da iluminância média determinada para os diferentes ambientes avalia-se a sua concordância com a *NBR 5413 (NB 57) – Iluminância de interiores* (ABNT, 1991) para as atividades visuais a que se destinam. Três situações podem ocorrer:

1º. Os níveis de iluminação podem estar muito acima das recomendações da NBR 5413: Neste caso, reduz-se a iluminância para o mínimo recomendado, o que permite também a redução da potência instalada. Porém, deve-se atentar que a redução da iluminância para o valor prescrito pela norma pode causar insatisfação do usuário pois este estava habituado a elevadas iluminâncias.

2º. Os níveis de iluminação podem estar próximos das recomendações da NBR 5413: Neste caso, a proposta de *retrofit* visa a redução da potência total instalada em iluminação mantendo a iluminância.

3º. Os níveis de iluminação podem estar abaixo das recomendações da NBR 5413: Isto implica na utilização de equipamentos que garantam a menor potência instalada em iluminação mas que atendam as exigências mínimas de iluminância, elevando seus valores.

3.2.4. Refletância das superfícies internas

As refletâncias das superfícies internas devem ser determinadas para serem utilizadas durante a reelaboração do projeto luminotécnico como forma de diminuir a densidade de iluminação e aumentar a eficiência luminosa do sistema.

As medições podem ser realizadas com o auxílio de luxímetros portáteis e de uma folha de papel branco - *método do papel branco*. Mantendo-se a fotocélula voltada para a superfície e afastada aproximadamente 10 cm desta, determina-se a iluminância refletida por esta superfície e em seguida, a iluminância refletida pela mesma superfície coberta pelo papel branco. Admitindo a refletância do papel branco como sendo 90%, a refletância da superfície é determinada através de uma proporção como mostra a equação 2.

$$\rho_{\text{sup}} = 90 \cdot E_{\text{sup}} / E_{\text{pb}} \quad (2)$$

onde:

ρ_{sup} é a refletância da superfície (%);

E_{sup} é a iluminância refletida pela superfície (lux);

E_{pb} é a iluminância refletida pela superfície com papel branco (lux).

Deve-se realizar diferentes conjuntos de medições em tetos, paredes e pisos sempre que estes apresentem cores ou materiais diferentes. Através de tratamento estatístico deve-se verificar a existência de valores espúreos para obter-se uma média aritmética representativa da refletância de cada superfície.

3.3. Avaliação do sistema de iluminação natural

As condições de iluminação natural, com o objetivo de ser utilizada na redução do consumo de energia elétrica, deveriam ser avaliadas ao longo do ano e tratadas estatisticamente em função das condições de céu e de sua frequência de ocorrência. No entanto, em virtude das dificuldades de monitoramento contínuo, podem ser adotadas as recomendações descritas a seguir.

3.3.1. Medições dos níveis de iluminação natural

As medições devem ser realizadas nas diferentes orientações da edificação e em ambientes representativos para diferentes afastamentos da janela. Este procedimento permite avaliar a possibilidade de manter-se as lâmpadas próximas às janelas apagadas sempre que os níveis de iluminação natural suprem as necessidades de iluminação.

As medições podem ser realizadas com base na proposta de norma *Iluminação natural: medição das condições internas*, elaborada por GHISI & PEREIRA (1996). Sugere-se que as medições sejam obtidas em datas próximas aos solstícios de verão (22 de dezembro) e de inverno (22 de junho) em cinco diferentes horários: 8, 10, 12, 14 e 16 horas e em três dias consecutivos. As condições de céu durante estes dias devem ser comparadas com informações sobre as condições de céu da região, quando disponíveis.

No caso de edifícios com mais de um pavimento sugere-se a escolha de um pavimento representativo para as medições.

Quando não se dispõe da quantidade necessária de luxímetros para medições simultâneas em cada orientação deve-se iniciá-las um intervalo de tempo antes do horário estipulado para encerrá-las aproximadamente após o mesmo intervalo.

3.3.2. Avaliação dos níveis de iluminação natural

Os dados de iluminação natural devem ser tratados estatisticamente através da análise de valores espúreos e média aritmética para pontos com mesmo afastamento da janela e mesma hora do dia para cada orientação. Desta forma, pode-se comparar as condições de iluminação natural ao longo do dia para cada orientação e para diferentes orientações entre si. A avaliação das condições de iluminação natural pode ser realizada através do traçado de diagramas de iluminância, pois permitem uma melhor análise de sua variação com o afastamento da janela, ou também através de curvas isolux. Deve ser descartada a possibilidade de média aritmética de todos os pontos conjuntamente pois os níveis de iluminação natural não serão adequadamente caracterizados. Isto pode ser utilizado

apenas nos casos de iluminação zenital.

Para avaliar a possibilidade de redução do consumo de eletricidade através da utilização da iluminação natural, os níveis de iluminação natural devem ser comparados aos níveis de iluminação exigidos pela NBR 5413 em função da atividade visual realizada no ambiente.

3.3.3. Avaliação das condições externas

Detalhes construtivos do edifício, bem como características externas do entorno próximo, devem ser analisados para permitir a sua avaliação no *retrofit* do sistema de iluminação. Deve-se conhecer e avaliar a possibilidade de construção de prédios vizinhos e do plantio de árvores que venham a prejudicar ou mesmo impedir o aproveitamento da iluminação natural. Deve-se avaliar, também, o sombreamento proporcionado por proteções solares, caso existam, e a sua influência no aproveitamento da iluminação natural.

3.4. O projeto luminotécnico

Avaliadas as condições do atual sistema de iluminação e a possibilidade de realização de um *retrofit*, deve-se elaborar o novo projeto luminotécnico para cada ambiente da edificação visando atender as iluminâncias recomendadas pela NBR 5413. Sugere-se a utilização do método dos lúmens por ser um método bastante simples e de fácil entendimento.

Nesta etapa não se pode esquecer que sistemas de iluminação direta e de iluminação localizada constituem-se em um recurso bastante eficiente na minimização da potência instalada em iluminação e na maximização da eficiência luminosa do sistema.

Deve-se atentar que a depreciação do fluxo luminoso com a vida da lâmpada e com o acúmulo de poeira exige a majoração da iluminância inicial em função do período de manutenção do sistema. Portanto, o período de manutenção deve ser cuidadosamente escolhido.

3.4.1. A escolha das lâmpadas

As lâmpadas devem ser escolhidas sobretudo pela sua eficiência luminosa, além da vida útil, temperatura de cor e índice de reprodução de cor.

3.4.2. A escolha das luminárias

A escolha das luminárias deve ser baseada na análise de curvas fotométricas e nas suas propriedades reflexivas. Estas propriedades reflexivas são avaliadas através da análise das tabelas de coeficiente de utilização de luminárias fornecidos pelos fabricantes.

3.4.3. A escolha dos reatores

As propostas podem ser avaliadas com a utilização de reatores eletromagnéticos e eletrônicos e a escolha de um em detrimento de outro ser realizada por ocasião da análise de retorno do investimento.

3.4.4. Propostas de *retrofit*

Com base nas lâmpadas, luminárias e reatores escolhidos anteriormente devem ser elaboradas diferentes propostas de *retrofit* através de diferentes montagens. Esta etapa permite verificar qual o conjunto de lâmpada, luminária e reator que proporciona a menor densidade de iluminação e a maior eficiência luminosa do sistema. Porém, a escolha de determinado conjunto em detrimento de outro deve ser realizada apenas após a análise econômica.

3.4.5. Distribuição das luminárias e aproveitamento da iluminação natural

Definida a quantidade de luminárias para atender as exigências de iluminação, deve-se avaliar a sua distribuição espacial de forma a garantir uma distribuição uniforme de iluminâncias e de forma a permitir o seu desligamento em momentos que a iluminação natural supre total ou parcialmente as necessidades de iluminação na superfície de trabalho. Outro detalhe importante diz respeito ao posicionamento, no sentido transversal ou longitudinal, das luminárias. A escolha por uma ou outra posição deve ser função da curva de distribuição da luminária e da posição dos usuários na sala, além do posicionamento das janelas e da contribuição da luz natural.

3.4.6. Análise de luminâncias

A luminância é o fator essencial no processo visual. A visibilidade de um objeto depende da intensidade de luz que incide sobre ele e da proporção refletida até o olho, ou seja, aumentando-se a luminância, melhora-se as condições de visibilidade. A leitura e interpretação deste trabalho só é possível devido a diferença de luminância entre o fundo branco e as letras pretas. Da mesma forma, o ambiente interior, assim como todas as coisas que nos rodeiam, podem ser vistos e interpretados em virtude das diferenças de luminâncias das superfícies. Variações na luminância são importantes para tornar um ambiente estimulante e atraente. Porém, elevadas taxas de luminância podem provocar ofuscamento.

A luminância é definida como a intensidade luminosa por unidade de área aparente da superfície emissora numa dada direção como mostra a equação 3.

$$L = I/A \quad (3)$$

onde:

L é a luminância da superfície (cd/m^2);

I é a intensidade luminosa na direção de interesse (cd);

A é a área aparente da superfície em relação ao ponto de vista do observador (m^2).

Para avaliar as luminâncias proporcionadas pela lâmpada e pela luminária utilizadas, pode-se verificar estes níveis através da análise da curva de distribuição de intensidade luminosa da luminária (ou de uma tabela que forneça estes valores) fornecida pelo fabricante. Em função destes valores e da área aparente da luminária para cada ângulo de visão, a luminância pode ser facilmente determinada através da utilização da equação 3. Na utilização desta equação deve-se atentar que a intensidade luminosa fornecida pelos fabricantes normalmente é expressa por 1000 lúmens, portanto deve-se conhecer o fluxo luminoso e a quantidade de lâmpadas na luminária. Desta forma, aquela equação pode ser reescrita na forma da equação 4.

$$L = \frac{I \cdot n \cdot \phi_{\text{lâmpada}}}{1000 \cdot A \cdot \cos\theta} \quad (4)$$

onde:

I	é a intensidade luminosa na direção desejada (cd/1000lm);
n	é o número de lâmpadas na luminária;
$\phi_{\text{lâmpada}}$	é o fluxo luminoso de uma lâmpada (lm);
A	é a área real de emissão da luminária (m ²);
θ	é o ângulo de visão com a vertical (graus).

Estes valores devem ser comparados a limites de luminância para cada ângulo de visão, como as curvas de limitação de luminância apresentadas no capítulo 2 de GHISI (1997).

3.5. Determinação do potencial de economia de energia

Para esta análise, torna-se necessária a avaliação do potencial de conservação de energia elétrica verificado para cada proposta. Com base no uso final do atual sistema de iluminação e do potencial de redução deste consumo para cada opção, determina-se a economia total de energia elétrica na edificação e, conseqüentemente, o consumo da edificação pós-*retrofit*.

3.6. Análise econômica

A avaliação do tempo esperado para o retorno do investimento realizado no *retrofit* do sistema de iluminação, ou em qualquer outro sistema, pode ser realizado através dos seguintes métodos:

- método do valor presente;
- relação benefício/custo;
- método da taxa interna de retorno;
- *payback* simples.

Isto permite avaliar a viabilidade de execução do *retrofit* através de métodos mais simples, como o *payback* simples, até métodos mais precisos, como o da taxa interna de retorno. Informações a respeito destes métodos podem ser obtidas em GHISI (1997), ABREU & STEPHAN (1982), CASAROTTO FILHO & KOPITTKKE (1992), FLEISCHER (1973), LINS (1976) e MAYER (1977).

O preço das luminárias, lâmpadas e reatores também deve ser conhecido, bem como o custo da pintura das paredes e teto (quando necessário) para aumento de sua reflexão. Deve-se avaliar, também, o custo de reposição de equipamentos, de manutenção e de mão-de-obra.

3.7. Avaliação pós-*retrofit*

Um passo muito importante desta metodologia é a avaliação dos níveis de iluminação proporcionados pelo novo sistema. Desta forma, é possível verificar as condições reais dos equipamentos de iluminação. Também é importante que se levante o consumo de energia elétrica da edificação para verificar a redução real verificada. Esta avaliação pode alertar para cuidados a serem tomados em novos *retrofits*.

4. CONCLUSÕES

Em virtude da crescente preocupação em reduzir o consumo de energia elétrica em edificações e do sistema de iluminação constituir-se na opção mais imediata para realização de *retrofit*, pois o desenvolvimento tecnológico neste campo cresce em ritmo acelerado, parece evidente a necessidade de uma metodologia que facilite estes estudos.

Esta metodologia alerta para o uso correto de equipamentos energeticamente eficientes a serem utilizados através de um projeto luminotécnico que vise, além da minimização da potência instalada em iluminação, o atendimento das necessidades de luz por parte do usuário do ambiente iluminado. Outros dois importantes passos que devem ser considerados dizem respeito a análise econômica e a avaliação pós-*retrofit*. O primeiro geralmente é feito com base no *payback* simples, o que não representa adequadamente o período de retorno do investimento. O segundo está relacionado a falta de informações sobre edificações que tiveram seus sistemas alterados visando a redução do consumo de eletricidade; isto deveria ser feito como forma de verificar as medidas assumidas durante o estudo.

Neste sentido, pretende-se contribuir com uma metodologia que permite análises mais detalhadas para *retrofits* em sistemas de iluminação e que põe fim ao sentimento de que este tipo de *retrofit* diz respeito apenas à substituição de lâmpadas ineficientes por outras energeticamente eficientes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1985). *NBR 5382 - Verificação de iluminância de interiores - Procedimento*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 6 p.
- ABNT (1991). *NBR 5413 - Iluminância de interiores - Procedimento*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 13 p.
- ABREU, P. F. S. P.; STEPHAN, C. (1982). *Análise de investimentos*. Editora Campus, Rio de Janeiro, 280 p.
- CASAROTTO 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, 323 p.
- FLEISCHER, G. A. (1973). *Teoria da aplicação do capital: um estudo das decisões de investimento*. Tradutores: Miguel Cezar Santoro e Cibele Freire Santoro. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 272 p.
- GHSI, 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, 246 p.
- GHSI, E.; PEREIRA, F. O. R. (1996). *Iluminação natural: medição das condições internas*. Texto base para norma. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 16 p.
(<http://www.npc.ufsc.br/~energia/normas/index.html>).
- LINS, G. E. (1976). *Análise econômica de investimentos*. 2ª edição, Rio de Janeiro, APEC Editora S.A., 263 p.
- MAYER, R. R. (1977). *Análise financeira de alternativas de investimento*. Tradutor: Antonio Zoratto Sanvincente. São Paulo, 1ª edição, Editora Atlas S.A., 112 p.