

A APLICAÇÃO DO REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Joyce Carlo (1); Rovy Ferreira (2); Roberto Lamberts (3)

(1) Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, joyce@labeee.ufsc.br

(2) Acadêmico de Arquitetura e Urbanismo, rovy@labeee.ufsc.br

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, lamberts@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 5184

RESUMO

Este artigo procura avaliar diferentes métodos de determinação do nível de eficiência de projetos luminotécnicos de edifícios pelo Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Métodos de refletâncias foram avaliados, assim como diversos modelos de lâmpadas e luminárias, com o objetivo de indicar os requisitos necessários para que o sistema de iluminação atinja o nível A de eficiência energética. Os resultados indicaram a relevância das refletâncias das superfícies no nível de eficiência energética, considerando a existência de áreas de superfícies que não refletem luz. Também foi observado que lâmpadas com elevada eficiência energética (superior a 90lm/W) e luminárias com refletor de alumínio e sem aletas atingem mais facilmente o nível A pelo Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

Palavras-chave: eficiência energética, iluminação artificial, Regulamento Técnico da Qualidade.

ABSTRACT

This paper aims to study different methods to establish the efficiency level of artificial lighting projects according to the Brazilian energy efficiency standard: "Technical Regulation of Quality of Energy Efficiency in Commercial and Public Buildings". Calculation methods reflectances were evaluated, in addition to the test of several lamps and luminaries efficiency properties in order to identify the requirements for the lighting system to reach the level A. The results reveal the importance of the internal surfaces reflectances to achieve level A of energy efficiency, considering the non-reflecting surfaces. It was observed that high efficiency lamps (over 90 lm/W) and luminaries with aluminum reflector and without wings reach level A more easily according to the Technical Regulation of Quality of Energy Efficiency in Commercial and Public Buildings.

Key words: energy efficiency, artificial lighting, Technical Regulation of Quality.

1. INTRODUÇÃO

Considerando o cenário mundial de escassez de recursos naturais, a criação de soluções de consumo de energia mais responsáveis se torna imprescindível. O Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) foi elaborado com a intenção de propor um sistema de classificação do nível de eficiência energética de edifícios. Viabilizado pelo Ministério de Minas e Energia em parceria com a Eletrobrás através do PROCEL EDIFICA, o RTQ-C foi desenvolvido pelo LabEEE visando a redução do consumo de energia elétrica no Brasil estabelecendo critérios de eficiência para três sistemas: a Envolvória, o Sistema de Iluminação e o Sistema de Condicionamento de ar.

O Balanço Energético Nacional indica que 48% do consumo de eletricidade no país é devido a edifícios (BEN, 2007), sendo que a pesquisa de mercado de edifícios comerciais identificou um uso final médio de 47% devido ao sistema de condicionamento de ar, 22% de iluminação e 31% por outras cargas de edifícios atendidos por alta tensão (CORREIA, 2007a). Em edifícios públicos, a pesquisa identificou que 48% do uso final médio é devido ao sistema de condicionamento de ar, 23% à iluminação, 15% a

equipamentos de escritório e 14% a demais cargas, como bombas e elevadores (CORREIA, 2007b). Percebe-se assim como o consumo de energia elétrica nas edificações é relevante, tornando evidente a importância do desenvolvimento de projetos luminotécnicos eficientes. O método desenvolvido no Regulamento Técnico da Qualidade classifica os sistemas de iluminação artificial a fim de alcançarem elevados níveis de eficiência energética. Através da avaliação do nível de eficiência energética é possível classificar um edifício, e o sistema de iluminação separadamente em especial, como mais eficiente (nível A) até menos eficiente (nível E).

Diversas opções de procedimentos podem ser adotadas ao aplicar do método do Regulamento Técnico de Qualidade para a determinação do nível de eficiência do sistema de iluminação. A equipe de desenvolvimento testou métodos de cálculo a fim de identificar os impactos no nível de eficiência do projeto. A elaboração de um procedimento padrão possibilita a avaliação do certificador a partir de critérios mais definidos, sendo registrada no manual do RTQ-C.

2. OBJETIVO

Este artigo visa apresentar a avaliação de métodos de cálculo e identificar as condições que fazem com que o projeto luminotécnico atinja o nível A pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

3. ILUMINAÇÃO NO REGULAMENTO

Segundo o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), o nível de eficiência energética do sistema de iluminação de um edifício é determinado pela Densidade de Potência de Iluminação relativa (DPI_R , cuja unidade é $W/m^2/100lux$) de cada ambiente da edificação, e pelo atendimento aos pré-requisitos: a divisão dos circuitos, o desligamento automático do sistema de iluminação e a contribuição da luz natural.

Deve-se calcular o índice de ambiente (K) do ambiente ou zona de iluminação para identificar a Densidade de Potência de Iluminação relativa limite (DPI_{RL}) em tabela fornecida pelo RTQ-C (Tabela 1).

Usando a NBR 5413 – Iluminância de Interiores (ABNT, 1992) e fazendo o projeto luminotécnico, obtém-se a Densidade de Potência de Iluminação relativa final (DPI_{RF}). Em seguida, deve-se comparar a densidade final encontrada no projeto (DPI_{RF}) com a densidade limite tabelada (DPI_{RL}), para identificar os níveis de eficiência energética. A Tabela 1 apresenta algumas densidades limite estabelecidas pelo RTQ-C de acordo com o nível de eficiência (INMETRO, 2009).

Tabela 1 – Alguns limites máximos de densidade de potência de iluminação relativa (DPI_{RL}) para o nível pretendido.

Índice de ambiente (K)	Densidade de Potência de Iluminação relativa $W/m^2/100lux$ (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação relativa $W/m^2/100lux$ (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação relativa $W/m^2/100lux$ (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação relativa $W/m^2/100lux$ (Nível D)
0,60	2,84	4,77	5,37	6,92
1,00	2,27	3,38	3,77	4,86
2,50	1,83	2,38	2,57	3,31
4,00	1,73	2,16	2,33	3,00
5,00	1,71	2,09	2,24	2,89

A comparação das DPI usando a iluminância (que resulta na unidade $W/m^2/100lx$) permite avaliar o nível de eficiência do edifício completo independente do uso, proporcionando comparações entre ambientes de iluminâncias distintas. No entanto, esta opção de análise apresenta limitações para descrever a eficiência energética do sistema de iluminação. A NBR 5413 (ABNT, 1992) apresenta níveis de iluminância superdimensionados, e é imprescindível uma revisão da norma dado os avanços tecnológicos e científicos acumulados nos 17 anos de sua vigência. Soma-se ao fato um regulamento para eficiência de edificações inédito no Brasil, publicado pelo Inmetro em março de 2009, o que gerou limitações na avaliação do nível de eficiência. De fato, o RTQ-C permite sistemas de nível A porém com densidades de potência mais elevadas, visto que, pela NBR 5413 (ABNT, 1992), pode-se chegar a níveis de iluminância mais elevados¹. Como o RTQ-C foi lançado em sua primeira versão e não existe tradição em aplicação de parâmetros de eficiência

¹ Por ser uma norma ABNT, o RTQ-C apenas recomendou adotar os níveis mais baixos de iluminância.

em projetos no Brasil, tampouco dados consolidados dos níveis de DPI para diferentes usos, optou-se por uma análise comparativa das DPI normalizando-as pelo nível de iluminância no plano de trabalho. Espera-se que versões futuras do RTQ-C terão dados consolidados de DPI por uso e poderão assim eliminar a participação da iluminância na determinação da eficiência e definir níveis de eficiência baseados apenas na relação de potência pela área. A curto prazo, espera-se que uma revisão da NBR 5413 (ABNT, 1992) atenda à demanda de atualização dos níveis de iluminância.

Independente da discussão sobre os níveis de iluminância, a necessidade de verificar os parâmetros determinantes do nível de eficiência do sistema de iluminação apontou três campos interligados entre si: índices de ambiente, refletâncias das superfícies e obviamente, as lâmpadas e luminárias². Segundo Ghisi & Lamberts (1998), ambientes com elevados índices de ambiente são menos influenciados pelas refletâncias das superfícies de parede, teto e piso na medida em que a luz atinge diretamente a área de trabalho a ser iluminada. Pelo RTQ-C, um ambiente pode ser definido pelo seu fechamento envidraçado. As condições de refletância deste fechamento são obviamente distintas das condições de superfícies opacas e devem ser avaliadas. A seguir, é mostrado o método de cálculo da eficiência e de avaliação destes parâmetros.

4. METODOLOGIA

Um edifício de escritórios teórico (banheiros e ambientes de serviços foram ignorados) foi elaborado contendo mezaninos irregulares e áreas envidraçadas, representando uma situação complexa de um projeto luminotécnico para determinação dos índices de ambiente e das refletâncias (Figura 1). Um projeto luminotécnico foi calculado usando dois métodos de cálculo da refletância adotada na especificação das luminárias para avaliação da precisão, facilidade de cálculo dos níveis de eficiência obtidos.

Em seguida, foram verificadas quais as condições necessárias para estes projetos obtenham nível A ou B de classificação, a fim de estabelecer critérios de qualidade que permitem alcançar elevados níveis de eficiência energética segundo o método de determinação da eficiência do sistema de iluminação do regulamento.



Figura 1 – Edifício de escritórios em mezaninos, sendo o primeiro nível o hall de entrada, o segundo nível estar/cafê, e os demais os escritórios.

4.1. Projeto luminotécnico

O dimensionamento do sistema de iluminação pode ser realizado segundo o Método dos Lumens, que possibilita calcular o valor médio da iluminação geral distribuída em um ambiente. Este método implica o uso de luminárias do mesmo tipo em um mesmo local dispostas uniformemente. Para determinar de forma adequada a quantidade de luminárias necessárias para atingir o nível de iluminância requerido, é preciso conhecer com precisão o Fator de Utilização F_u das luminárias. Este depende do índice de ambiente K , relação entre as diferentes dimensões do recinto, e das refletâncias do teto, das paredes e do piso do ambiente. Porém a complexidade volumétrica de certas edificações pode dificultar a elaboração do projeto luminotécnico. Os índices de ambiente devem então ser divididos em zonas de iluminação de forma que cada zona contenha uma densidade de potência uniforme, dada pela distribuição da malha que compõe a localização das luminárias e do tipo de lâmpadas/reatores/luminárias dispostos nesta malha. No projeto adotado, as zonas de iluminação dividem-se como mostrado na Figura 2.

² Os reatores foram ignorados por fins teóricos de análise apenas, mas suas potências devem ser contabilizadas nos cálculos.

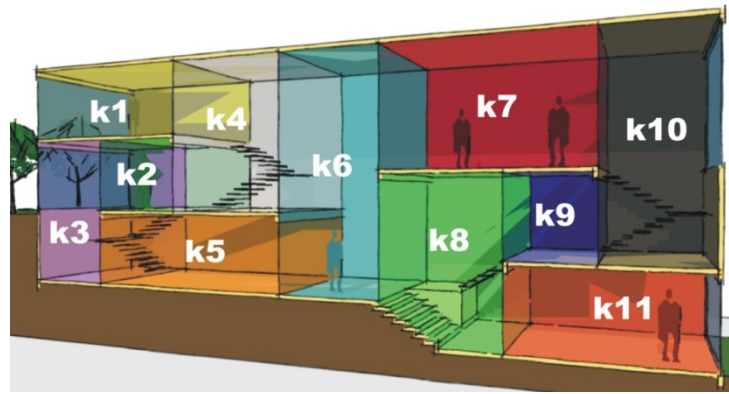


Figura 2 – Divisão dos ambientes para projeto luminotécnico, com ambientes separados para as escadas

Os índices de ambiente são calculados usando a Equação 1 para qualquer ambiente ou a Equação 2 para ambientes retangulares, que é o caso dos ambientes encontrados. Nota-se que a área do plano de trabalho a ser considerada na Equação 1 é na verdade a área do ambiente (igual à área de teto), fazendo com que a iluminância seja conservada independente da disposição de mesas no ambiente. Isso ocorre porque o K refere-se à geometria da zona de iluminação inserida em um ambiente (pode haver mais de uma zona de iluminação em um mesmo ambiente). Como exemplo, não se deve adotar a área de mesas que compõem o plano de trabalho, mas sim a área do plano completo onde é possível existir mesas.

$$K = \frac{A_t + A_{pt}}{A_p}$$

Equação 1

Onde,

K, índice de ambiente (adimensional);

A_t , Área de teto (m^2);

A_{pt} , Área do plano de trabalho (m^2);

A_p , Área de parede entre o plano iluminante e plano de trabalho (m^2);

C, comprimento total do ambiente (m);

L, largura total do ambiente (m);

h, altura média entre a superfície de trabalho e o plano das luminárias no teto (m).

$$K = \frac{C.L}{h.(C + L)}$$

Equação 2

Os fatores de utilização foram determinados a partir das especificações técnicas dos catálogos das luminárias, em função dos valores de índice de ambiente e de refletância das superfícies de paredes, teto e cobertura. Poucos fabricantes disponibilizam tabelas contendo fatores de utilização, o que restringiu a escolha de luminárias a dois fabricantes. Esta situação poderá limitar a especificação de produtos, cabendo aos fabricantes a iniciativa de fornecer dados técnicos sobre o seu produto. A iluminância foi estabelecida conforme a NBR 5413 – Iluminância de Interiores e os requisitos do RTQ-C, que recomenda a iluminância mínima do grupo na norma.

Para estabelecer o número de luminárias em cada ambiente foi usada a equação 3. O fator de depreciação, que conforme o regulamento é $F_d = 0,80$, está presente na equação para que a iluminância inicial (E_i), na equação 4, seja no mínimo 20% maior do que a iluminância de projeto (E_p). Isso possibilita que a iluminância final (E_f), na Equação 5, continue maior ou igual a E_p após o final da vida útil da lâmpada.

$$N = \frac{E_p . A}{n . \Phi . F_u . F_d}$$

Equação 3

Onde:

N, número de luminárias;

E_p , iluminância de projeto (lx);

A, área de piso do ambiente (ou zona) (m^2);

n, número de lâmpadas por luminária;

Φ , fluxo luminoso da lâmpada (catálogo);

F_u , fator de utilização da luminária (catálogo);

F_d , fator de depreciação;

E_i , iluminância inicial (lx);

E_f , iluminância final (lx);

P, potência do sistema de iluminação

DPI, densidade de potência de iluminação absoluta

$$E_i = \frac{N . n . \Phi . F_u}{A}$$

Equação 4

$$E_f = E_i . F_d$$

Equação 5

$$DPI = \frac{N . n . P}{A}$$

Equação 6

$$DPI_{RF} = DPI \cdot \frac{100}{E_F} \quad \text{Equação 7} \quad \begin{matrix} (\text{W/m}^2); \\ DPI_{RF}, \text{ densidade de potência de iluminação relativa} \\ \text{final (W/m}^2 \cdot 100\text{lx)}. \end{matrix}$$

Uma vez calculada a densidade de potência de iluminação relativa final (DPI_{RF}) nas equações 6 e 7, é preciso compará-la com a densidade de potência de iluminação relativa limite (DPI_{RL}) para o nível desejado. A DPI_{RF} deve ser inferior à DPI_{RL} do nível visado para que este seja atingido. Caso a condição não se verifique será preciso alterar o projeto luminotécnico ou adotar nível de eficiência mais baixo. Cada nível de eficiência corresponde a um equivalente numérico (EqNumDPI), que varia de 1 para o nível E até 5 para o nível A (Tabela 2). Para estabelecer o nível de eficiência do sistema de iluminação do edifício, é preciso ponderar os equivalentes numéricos pela área à qual estes se aplicam para as zonas de iluminação que compõem um ambiente, aplicar os pré-requisitos para cada ambiente e, em seguida, ponderar novamente os EqNumDPI dos ambientes pela sua área de forma a obter o equivalente numérico final. Este EqNumDPI final indica o nível de eficiência do sistema de iluminação do edifício.

Tabela 2 – Classificação do Sistema de Iluminação

Classificação	A	B	C	D	E
EqNumDPI	≥4,5 a 5	≥3,5 a <4,5	≥2,5 a <3,5	≥1,5 a <2,5	<1,5

4.2. Métodos de cálculo

4.2.1. Especificação de luminárias: refletâncias

A especificação de luminárias para o projeto luminotécnico exige o índice de ambiente e as refletâncias de paredes, teto e piso para encontrar o coeficiente de utilização. Para este edifício com mezaninos e áreas de vidro, a determinação das refletâncias seguiu dois métodos.

No método 1, as refletâncias do teto, das paredes e do piso são calculadas efetuando-se a média ponderada das refletâncias da área opaca real em relação à área adotada para o cálculo do índice de ambiente (K). Como simplificação, as áreas envidraçadas e os limites do mezanino são considerados superfícies sem refletâncias, desconsiderando assim a reflexão do vidro ou os ganhos de iluminação provenientes do ambiente vizinho. Assim, duas áreas são consideradas: áreas de superfícies sem e áreas com refletâncias (áreas opacas). Estas refletâncias são ponderadas de acordo com a proporção de área de superfície opaca (parede, teto e piso separadamente) em relação à área total considerada no cálculo do índice de ambiente. Assim, são encontradas refletâncias mais semelhantes às refletâncias reais da superfície do teto, do conjunto de paredes e da superfície do piso cujos resultados são arredondados para as refletâncias mais próximas disponíveis nas tabelas de coeficientes de utilização de luminárias (10%, 30%, 50% ou 70%) contidas nos catálogos dos fabricantes.

No método 2, mais simples, as refletâncias adotadas são aquelas pertencentes à maior área de superfície existente para o teto, para as paredes e para o piso. Como exemplo, no caso de paredes: caso a área envidraçada e a área do vão do mezanino for maior, adotar as piores refletâncias disponíveis; caso contrário, adotar as refletâncias das paredes. Este método é mais adequado quando as áreas de superfícies opacas são predominantes. Esta análise visa, no entanto, avaliar a situação inversa e verificar assim o seu impacto em casos especiais.

4.2.2. Especificação de lâmpadas e luminárias

Para avaliação dos métodos dos itens 4.2.1, foram especificadas as seguintes luminárias e lâmpadas:

- A escolha das luminárias se baseou nas propriedades refletivas de cada uma, observando-se a importância de elevados coeficientes de utilização para atingir um bom nível de eficiência. Procurou-se usar luminárias com refletores de alumínio e sem aletas que apresentam um melhor desempenho (GHISI & LAMBERTS, 1998). Frente à diferença de alturas dos espaços internos as luminárias escolhidas são pendentes ou de sobrepor, de acordo com a altura do pé direito. Os ambientes mais verticais (ambiente3, ambiente4, ambiente6, ambiente8 e ambiente10 da Figura 3) possuem luminárias pendentes para reduzir a distância até o plano de trabalho e melhorar o índice de ambiente. O mesmo modelo foi usado nos outros ambientes como luminária de sobrepor, exceto nas escadas. Em quase todos os ambientes foram usadas as luminárias1 do fabricante 1 de 2x28W e com refletores de alumínio (Tabela 8), exceto no ambiente 8 (luminárias 12 do fabricante 2 de 1x28W com refletores de alumínio, Tabela 10) e nas áreas de

escada (luminárias 10 e 11 do fabricante 2, respectivamente de 1x14W e 2x14W com refletores de alumínio, Tabela 10).

- No caso das lâmpadas, uma boa eficiência (relação entre fluxo luminoso e potência da lâmpada em lm/W) é essencial para obter um nível de eficiência elevado, e foi determinante na escolha do equipamento. Em todos os ambientes do edifício de escritórios elaborado para o estudo são utilizadas lâmpadas fluorescentes tubulares de 28W com fluxo luminoso de 2900 lúmens, exceto nas áreas de escada onde as lâmpadas têm uma potência de 14W com fluxo luminoso de 1350 lúmens.

Após esta análise, foram ainda avaliados outros modelos a fim de identificar as características mais determinantes para obtenção de níveis de eficiência mais elevados. Luminárias e lâmpadas com as características acima foram testadas para diversos níveis de ambiente de acordo com os métodos de cálculo de índice de ambiente e de refletâncias considerados mais adequados. A limitação de especificações pelos fabricantes resultou na avaliação de apenas dois fabricantes para cada ambiente, chamados de LU1 e LU2 para fabricantes de luminárias e LA1 e LA2 para fabricantes de lâmpadas.

5. RESULTADOS

5.1. Avaliação do Nível de Eficiência dos ambientes

A avaliação do nível de eficiência energética da edificação deu origem a projetos luminotécnicos diferentes, em função do método utilizado. O uso do método 1 e do método 2 - de determinação das refletâncias para encontrar o fator de utilização - permitem observar o desempenho do sistema sob diferentes métodos de cálculo. Neste trabalho, são mostrados os resultados de aplicação dos métodos 1 e 2 de cálculo de refletâncias.

É possível observar algumas diferenças de resultados entre o método 1 (Tabela 3) e o método 2 (Tabela 4). Observa-se que são encontradas refletâncias de paredes de 10%, o que não é suficiente para atingir o nível A de eficiência, devido aos baixos fatores de utilização. Na aplicação do método 1, nenhum dos sete ambientes com refletância de paredes de 10% atinge o nível A de eficiência, enquanto cinco dos sete ambientes com refletância de parede de 30% alcançam o nível máximo de eficiência. O Escritório 1b, único ambiente com 50% de refletância de paredes, também atinge o nível A.

Ao aplicar o método 2, nota-se que o valor da refletância de parede muda para determinados ambientes. Os Escritórios 3 e 4, o Estar b, o Hall de Entrada b e as Escadas 1 e 3 sofrem uma diminuição no valor da refletância de parede, passando de 30% para 10%. Observa-se que os DPI_{RF} dos quatro ambientes aumentam, levando três desses quatro ambientes a passar do nível A para o nível B de eficiência energética. No caso do Estar a, o valor da refletância das paredes aumenta de 30% para 50%, levando a um aumento do fator de utilização da luminária e da DPI_{RF} , fazendo com que o ambiente permaneça com o nível A de eficiência.

Observa-se que o uso do método 2 proporciona, em geral, menores refletâncias aos ambientes, o que explica os fatores de utilização mais baixos nos Escritórios 3 e 4, no Estar b, no Hall de Entrada b e nas Escadas 1 e 3, assim como um aumento do número de luminárias nos Escritórios 3 e 4 e nas Escadas 1 e 3. Nestes ambientes, as DPI_{RF} são maiores que pelo método 1, o que é suficiente para reduzir o nível de eficiência dos Escritórios 3 e 4 e do Hall de Entrada b de A para B. Porém é importante notar que no caso do Estar a, o uso do método 2 levou a uma diminuição do DPI_{RF} , consequência do aumento da refletância das paredes. O método 2 se revela menos preciso, levando a resultados que podem eventualmente induzir a um dimensionamento do sistema de iluminação inadequado. Na medida em que considera a inexistência de reflexão de luz em algumas direções, o método 1 permite analisar com mais precisão as condições de iluminação de um ambiente.

A escolha do modelo de luminária se revela determinante. O Estar a e a Escada 1 apresentam índices de ambiente próximos e refletâncias idênticas, porém a diferença no tipo de luminária adotada, e consequentemente na eficiência das luminárias, leva a uma diferença nos valores dos fatores de utilização que se refletiu na eficiência da zona de iluminação. Apesar das condições semelhantes, o fator de utilização do Estar a é 30% maior que o da Escada 1, o que explica o nível de eficiência A para o primeiro e o nível B para o segundo.

As Tabelas 5 e 6 finalizam a análise, mostrando os níveis de eficiência dos ambientes (Tabela 5) e do edifício segundo cada método, assim como o número de lâmpadas e luminárias para o edifício (Tabela 6). As diferenças nos níveis de eficiência nos ambientes por método de cálculo adotado é visível na Tabela 5, refletindo-se no nível de eficiência do sistema de iluminação do edifício na Tabela 6. Na Tabela 5, três ambientes com nível A – Escritório 3, Escritório 4 e Hall de entrada – passaram para nível B ao aplicar o

método 2 de cálculo de refletâncias. Assim, na Tabela 6, o nível de eficiência do sistema de iluminação foi reduzido de A para B devido à redução do EqNumDPI de 4,61 com o método 1 para 4,22 ao usar o método 2. Percebe-se também que o número de lâmpadas e luminárias também se alterou em função do método adotado, com um aumento de quatro luminárias (oito lâmpadas de 28W) do método 1 para o método 2.

Tabela 3 – Eficiências das zonas de iluminação usando o método 1 de cálculo de refletâncias.

Zona de iluminação	Índice de ambiente K	Refletância	Fator de utilização Fu	Nº de luminárias	DPI _{RL} (W/m ² /100lux)		DPI _{RF} (W/m ² /100lux)	Nível de Eficiência
					Nível A	Nível B		
Escritório 1a	1,62	711	0,58	6	1,93	2,70	2,08	B
Escritório 1b	0,63	351	0,48	4	2,79	4,65	2,51	A
Escritório 2a	1,35	711	0,57	5	2,05	2,90	2,10	B
Escritório 2b	1,34	311	0,56	4	2,06	2,91	2,16	B
Escritório 3	1,19	331	0,57	9	2,16	3,09	2,11	A
Escritório 4	2,09	731	0,66	8	1,87	2,50	1,83	A
Estar a	0,68	331	0,45	2	2,70	4,38	2,69	A
Estar b	2,30	731	0,73	4	1,85	2,44	1,66	A
Estar c	0,66	311	0,41	3	2,73	4,49	2,96	B
Hall de Entrada a	0,48	311	0,36	2	2,84	4,77	3,35	B
Hall de Entrada b	1,51	731	0,65	3	1,95	2,75	1,85	A
Escada 1	0,61	331	0,35	1	2,82	4,71	3,65	B
Escada 2	0,61	311	0,31	1	2,82	4,71	4,12	B
Escada 3	0,61	331	0,35	1	2,82	4,71	3,65	B
Escada 4	0,37	311	0,36	1	2,84	4,77	3,60	B

Tabela 4 - Eficiências das zonas de iluminação usando o método 2 de cálculo de refletâncias.

Zona de Iluminação	Índice de ambiente K	Refletância	Fator de utilização Fu	Nº de luminárias	DPI _{RL} (W/m ² /100lux)		DPI _{RF} (W/m ² /100lux)	Nível de Eficiência
					Nível A	Nível B		
Escritório 1a	1,57	711	0,58	6	1,94	2,72	2,08	B
Escritório 1b	0,62	351	0,48	4	2,81	4,69	2,53	A
Escritório 2a	1,31	711	0,57	5	2,08	2,94	2,11	B
Escritório 2b	1,30	311	0,56	4	2,08	2,95	2,16	B
Escritório 3	1,17	311	0,53	10	2,17	3,12	2,28	B
Escritório 4	2,09	711	0,61	9	1,87	2,50	1,98	B
Estar a	0,68	351	0,50	2	2,70	4,38	2,41	A
Estar b	2,23	711	0,66	4	1,85	2,44	1,83	A
Estar c	0,65	311	0,41	3	2,73	4,49	2,96	B
Hall de Entrada b	0,48	311	0,36	2	2,84	4,77	3,35	B
Hall de Entrada b	1,51	711	0,61	3	1,95	2,75	1,98	B
Escada 1	0,61	311	0,28	2	2,82	4,71	4,63	B
Escada 2	0,61	311	0,31	1	2,82	4,71	4,12	B
Escada 3	0,61	311	0,28	2	2,82	4,71	4,63	B
Escada 4	0,37	311	0,36	1	2,84	4,77	3,60	B

Tabela 5 – Nível de eficiência dos ambientes por método avaliado.

Ambiente	Método 1	Método 2
Escritório 1	B	B
Escritório 2	B	B
Escritório 3	A	B
Escritório 4	A	B
Estar	A	A
Hall de Entrada	A	B

Tabela 6 – Níveis de eficiência parciais do sistema de iluminação do edifício pelos métodos avaliados.

Método	Nº Lâmpadas	Nº Luminárias	EqNumDPI	Nível
Método 1	102	54	4,61	A
Método 2	110	58	4,22	B

5.2. Especificação de lâmpadas para elevados níveis de eficiência

Foram avaliados diversos sistemas lâmpadas/luminárias, com lâmpadas de fluxos luminosos diferentes para cada modelo de luminária. Apesar da diferença de potência, as luminárias apresentam fatores de utilização semelhantes por serem do mesmo modelo.

Na Tabela 7 observa-se que lâmpadas de fluxo luminoso superiores a 2600 lm geram condições para níveis A se sua potência for 28W assim como lâmpadas de fluxo luminoso de 2950 lm se sua potência for 32W. No entanto, estas últimas só geram estas condições se adotadas em ambientes contendo superfícies de elevadas refletâncias. Nestes casos, nota-se que as lâmpadas que atingiram o nível A apresentam eficiências energéticas superiores a 90 lm/W.

Tabela 7 - Nível de eficiência de sistemas lâmpadas/luminárias em função do fluxo luminoso das lâmpadas para cinco ambientes teóricos contendo, cada um, uma das seis opções de sistemas.

K	Refl.	Luminária	LU1 2x28W			LU1 2x32W		
		Potência (W)	28			32		
		Fluxo Luminoso (lm)	2900	2600	2400	2950	2700	2350
		Eficiência energética (lm/W)	103,57	92,86	85,71	92,19	84,38	73,44
0,80	751	Nível de Eficiência do sistema lâmpada/luminária para diferentes Ks e refletâncias	A	A	B	A	B	B
3,60	751		A	A	B	A	B	B
2,56	531		A	A	B	B	B	B
0,80	311		B	B	B	B	B	B
3,60	311		A	B	B	B	B	D

Como citado, os critérios de seleção das lâmpadas foram a eficiência energética e a disponibilidade no mercado de luminárias específicas a lâmpada pré-selecionada. Outro modelo interessante foi uma lâmpada de potência 35W com 104,29 lm/W, porém ela foi descartada pois não se encontrou uma luminária específica cujos fatores de utilização estivessem disponíveis. Já o modelo de lâmpada mais eficiente, de 28W e com 103,57 lm/W, foi o mais usado nos escritórios devido à grande variedade de luminárias disponíveis para este modelo.

5.3. Especificação de luminárias para elevados níveis de eficiência

As luminárias selecionadas são apresentadas nas Tabelas 8 e 10, contendo as potências e sistemas óticos diferentes, cujo desempenho foi avaliado para índices de ambientes e refletâncias distintas apresentadas nas Tabelas 9 e 11. Nestas últimas, são mostrados dois casos com elevadas refletâncias (70% para o teto, 50% para as paredes e 10% para o piso) sendo um com baixo índice de ambiente (K=0,80) e outro com elevado índice de ambiente (K=3,60); dois casos com baixas refletâncias (30% para o teto, 10%

para as paredes e 10% para o piso) para os mesmos índices de ambiente citados, e um caso intermediário com índice de ambiente e refletâncias médios (50% para o teto, 30% para as paredes e 10% para o piso, $K=2,56$).

Tabela 8 - Luminárias do fabricante 1.

Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lâmpadas	2x28W	2x28W	2x28W	2x28W	2x32W	2x32W	2x32W	2x32W	2x32W
Sistema ótico	refletor de alumínio	refletor de alumínio	refletor de alumínio	refletor de alumínio aletas de alumínio	refletor de alumínio	refletor de alumínio	refletor de alumínio aletas de alumínio	refletor de alumínio aletas de aço	-

Tabela 9 - Nível de eficiência usando luminárias do fabricante 1.

Refl.	K	1	2	3	4	5	6	7	8	9
751	0,80	A	A	A	B	A	B	B	B	B
751	3,60	A	A	A	B	A	A	B	B	B
531	2,56	A	A	A	B	B	B	B	B	B
311	0,80	B	A	B	B	B	B	B	B	C
311	3,60	A	A	A	B	B	B	B	B	C

Tabela 10 - Luminárias do fabricante 2.

Número	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Lâmpadas	1x14W	2x14W	1x28W	1x28W	2x28W	2x28W	2x28W	2x32W	2x32W
Sistema ótico	refletor de alumínio	refletor de alumínio	refletor de alumínio	refletor de alumínio	refletor de alumínio	refletor de alumínio aletas de alumínio	difusor em acrílico	refletor de alumínio	refletor de alumínio aletas de aço

Tabela 11 - Nível de eficiência usando luminárias do fabricante 2.

Refl.	K	10	11	12	13	14	15	16	17	18
751	0,80	A	B	A	A	B	B	B	B	B
751	3,60	A	A	A	A	A	B	B	A	B
531	2,56	A	B	A	A	A	B	D	B	B
311	0,80	B	B	B	B	B	B	E	B	C
311	3,60	A	B	A	A	A	B	E	B	B

Observando as Tabelas 8 a 11, é possível notar que, independente do fabricante, algumas luminárias permitem atingir com mais facilidade o nível A de eficiência energética. Devido à maior eficiência das lâmpadas de 28W, as luminárias específicas para esta potência com refletores de alumínio e sem aletas (luminárias 1, 2, 3 na Tabelas 8 e 12, 13, 14 na Tabela 10) conseguem atingir o nível A na maior parte dos casos testados, permanecendo no nível B nos outros casos (luminárias 1, 2, 3 na Tabelas 9 e luminárias 12, 13, 14 na Tabela 11). Nas Tabelas 8 e 10, as luminárias 4 e 15 respectivamente são especificadas para lâmpadas de potência de 28W e possuem aletas de alumínio além do refletor. Observa-se que elas não atingem o nível A em nenhum dos casos testados, permanecendo nível B nas Tabelas 10 e 11. Na Tabela 11, a luminária 16 atinge baixos níveis de eficiência, permitindo alcançar o nível B somente com elevadas refletâncias e baixos índices de ambiente combinados, sendo que a iluminação do ambiente com refletâncias médias atinge no máximo o nível D, e chega ao pior nível (E) nos ambientes com refletâncias baixas, independente do índice de ambiente. O baixo desempenho desta luminária pode se explicar pelo sistema ótico que não apresenta refletores e por possuir somente um difusor, distribuindo a luz de forma indireta.

Ainda na Tabela 11, as luminárias 10 e 11 para lâmpadas de 14W com refletores de alumínio e sem aletas atingem o nível A em média em 50% dos casos, dependendo dos fatores de utilização de cada luminária.

Por fim, as luminárias para lâmpadas de 32W apresentam maior dificuldade para atingir o nível A devido à menor eficiência das lâmpadas. Quando possuem refletor de alumínio (luminárias 5 e 6 da Tabela 8

e luminária 17 da Tabela 10) o sistema atinge o nível A em 20% a 40% dos casos testados (luminárias 5 e 6 da Tabela 9 e luminária 17 da Tabela 11). Quando apresentam refletores e aletas (luminárias 7 e 8 da Tabela 8 e luminária e luminária 18 da Tabela 10) o nível A não é atingido, permanecendo no nível B (luminárias 5 e 6 da Tabela 10) e chegando até o nível C no caso da luminária 18 da Tabela 11. A luminária 9 não comporta refletor nem aletas (Tabela 8) e atinge o nível B em 60% dos casos, chegando ao nível C com refletâncias menores (Tabela 9).

6. CONCLUSÕES

No método 1 de determinação de refletâncias, a proporcionalidade entre o percentual de área opaca e a refletância faz com que o valor desta seja mais próximo da realidade, já que as superfícies envidraçadas e os vãos do mezanino são considerados. O fator de utilização da luminária torna-se assim mais próximo do real, tornando a avaliação do nível de eficiência energética mais rigorosa. O método 2 só considera as refletâncias extremas, o que prejudica sua precisão. Em ambientes semelhantes aos estudados, com grandes superfícies que não refletem luz como áreas envidraçadas ou vãos, o uso do método 2 pode prejudicar de forma significativa a obtenção de um elevado nível de eficiência. Nos casos mostrados, a maioria das refletâncias obtidas são mais baixas no método 2, com poucas exceções: ambientes com áreas envidraçadas ligeiramente menores que as áreas opacas possuem as refletâncias que podem ser mais altas que as reais, beneficiando inadequadamente o nível de eficiência energética do sistema de iluminação e resultando num projeto luminotécnico inapropriado. O método 1 de determinação de refletâncias é mais apropriado para identificar os fatores de utilização das luminárias de ambientes com vãos e áreas envidraçadas, visto que sua precisão no cálculo reflete-se no nível de eficiência energética do RTQ-C.

Sobre a especificação de lâmpadas, vale o já conhecido: lâmpadas com melhor desempenho energético aumentam o nível de eficiência. As lâmpadas de 28W representam a melhor escolha para atingir um bom nível de eficiência de acordo com o método descrito no RTQ-C, mas a combinação de refletâncias para a especificação da luminária (F_u) com os índices de ambiente permite que sistemas de nível A sejam compostos por lâmpadas de 32W também.

As luminárias também devem ser eficientes, refletor de alumínio e ausência de aletas é determinante para atingir o nível A de eficiência energética. Nos diversos casos testados todas as luminárias que não atenderam a este requisito atingiram no máximo o nível B, chegando ao nível E no caso de luminárias decorativas com iluminação indireta. Entretanto, sabe-se que as aletas exercem um papel importante no conforto visual e este fator não deve ser excluído do projeto para se atingir o nível A. O sistema de ponderação pela área permite que existam ambientes com níveis B enquanto o sistema de iluminação do edifício sejam nível A.

7. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413 - Iluminância de interiores. ABNT: Rio de Janeiro, 13p., 1992.
- CORREIA, P. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: Pesquisa na Classe Comercial AT**. Procel: 2007a. Disponível em: www.eletrobras.com/pci. Acesso em: 17/01/2008.
- _____. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil: Pesquisa na Classe de Prédios Públicos**. Procel: 2007b. Disponível em: www.eletrobras.com/pci. Acesso em: 17/01/2008.
- GHISI, E. & LAMBERTS, R. **Influência das características reflexivas da luminária e da refletância das paredes na potência instalada em sistemas de iluminação**, in: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1998. Anais volume1, Florianópolis: ENCAC. pp.391-399
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA - Balanço Energético Nacional, 2007. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em: 18 de janeiro de 2008.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, 2009, disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001424.pdf>> Acesso em: 03/04/ 2009.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.