



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

ILUMINAÇÃO INTERNA EM UMA LOJA DE AUTO-SERVIÇO: ESTUDO DA INTEGRAÇÃO ENTRE SISTEMAS ARTIFICIAIS E A LUZ NATURAL

Renata Camelo Lima (1); Juliana Oliveira Batista (2)

(1) Discente da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, renatacamelo.arq@gmail.com

(2) Msc. em Arquitetura, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, juliana82arq@gmail.com
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, BR-104 - Norte, Km 97, Cidade Universitária, Maceió – AL, Tel.: (82) 3214 1286

RESUMO

O aproveitamento da luz natural para a iluminação dos espaços internos representa uma alternativa acessível e eficiente para a redução do consumo de energia nos edifícios. Particularmente no setor comercial, a redução do consumo de energia com os sistemas de iluminação é estratégica, visto que estes sistemas são responsáveis por 22% do consumo de energia dessas edificações. Considerando-se tais aspectos, o objetivo principal deste trabalho é elaborar uma proposta de integração eficiente entre o sistema de iluminação artificial e a luz natural no hipermercado GBarbosa, localizado em Maceió - AL, visando a redução do consumo de energia elétrica. O método empregado consiste no levantamento de dados relativos ao sistema de iluminação artificial atualmente instalado no hipermercado e na simulação computacional da iluminação natural, utilizando-se o programa Troplux. O sistema de iluminação artificial foi avaliado quanto ao atendimento do nível de iluminância necessário para o desempenho das tarefas visuais; consumo de energia e possibilidade de redução do mesmo e classificação do nível de eficiência energética. A partir dos resultados desta análise, foi definida uma proposta de melhoria no desempenho do sistema de iluminação geral da área de vendas do hipermercado, incluindo a substituição de equipamentos e redimensionamento da quantidade de luminárias. Visando promover uma maior economia de energia com o aproveitamento da luz natural, foram inseridas aberturas zenitais na cobertura da edificação. A contribuição da luz natural foi analisada em função dos valores de UDI (*Useful Daylight Illuminance*), obtidos a partir das simulações com o programa Troplux. Os resultados indicaram que a substituição dos equipamentos e o redimensionamento do sistema de iluminação artificial poderiam resultar em uma economia de 38% em relação ao consumo estimado para o sistema atualmente instalado na área de vendas do hipermercado estudado. Com o aproveitamento da luz natural, o percentual de economia seria ainda maior, variando entre 43% e 45% de acordo com a condição de céu (encoberto, parcialmente encoberto e claro).

Palavras-chave: Loja de auto-serviço, iluminação natural, iluminação artificial.

ABSTRACT

The use of daylight in the interior spaces is an accessible and efficient alternative to reduce energy consumption in buildings. Particularly in the commercial sector, the reduction of energy consumed by lighting systems is strategic, because these systems are responsible for 22% of energy consumption in these buildings. Considering such aspects, the main objective of this work is to propose a strategy for efficient integration between artificial lighting system and daylight in GBarbosa hypermarket, located in Maceió - AL, providing a reduction on energy consumption. The method applied consists in collecting data for the artificial lighting system currently installed at the hypermarket and simulating performance of daylighting, using the Troplux software. The artificial lighting system performance was evaluated according to the illuminance level required for visual tasks, the amount of energy consumed and the possibility of improving the classification of energy efficiency level. Based on these results, it was developed a proposal for improvement of the general lighting system performance in the hypermarket sales area, including equipment replacement and resizing the amount of luminaries. Aiming to promote greater energy savings by daylight use, skylights were inserted on the building roof. The contribution of daylight was analyzed with respect of

UDI values (Useful Daylight Illuminance), obtained from simulations with the Tropix software. The results showed that equipment replacement and artificial lighting system resizing could lead to a 38% reduction in energy consumption, in comparison to the estimated consumption for the system currently installed in hypermarket sales area. With the use of daylight, the energy savings could reach 43% and 45%, depending on the sky condition (cloudy, partly cloudy and clear).

Keywords: self-service store, natural lighting, artificial lighting.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia (LAMBERTS et al, 2004). Dessa forma, um edifício é considerado eficiente quando consome menos energia do que outro, diante das mesmas condições climáticas, tirando proveito dos recursos naturais para o condicionamento passivo e iluminação dos ambientes internos. Porém, com o uso intensivo de sistemas de climatização e iluminação artificial, frequentemente os projetos de arquitetura deixam de integrar os recursos naturais com os sistemas artificiais, a exemplo dos sistemas de iluminação.

Maceió, a capital do estado de Alagoas, é uma cidade litorânea com clima tropical-úmido, localizada na latitude 9°40' ao Sul do equador e longitude 35°42' a Oeste do meridiano de Greenwich. Está enquadrada na Zona Bioclimática 8 e apresenta uma condição favorável para o aproveitamento da luz natural. Visando a economia de energia, o aproveitamento da luz natural se torna uma alternativa econômica para a iluminação do interior das edificações, minimizando o desperdício e os gastos com instalação e manutenção de equipamentos.

De acordo com o PROCEL (2007), os sistemas de iluminação artificial são responsáveis por uma parcela de 22% do consumo total de energia das edificações comerciais. Portanto, justifica-se o aproveitamento da luz natural e a sua integração com os sistemas artificiais em projetos no clima quente e úmido. Cabe ao projetista especificar luminárias, lâmpadas e reatores mais eficientes e sistemas de controle de iluminação. Também é fundamental para um bom projeto a distribuição correta dos pontos de luz, possibilitando maior eficiência visual dos ambientes de trabalho (LAMBERTS et. al., 2004), bem como atentar para o equilíbrio dos ganhos térmicos provenientes da insolação e dos equipamentos elétricos, pois isto poderia aumentar o consumo de energia para o condicionamento térmico dos ambientes.

Segundo o PROCEL (2007) “calcula-se que quase 50% da energia elétrica produzida no país seja consumida não só na operação e manutenção das edificações, como também nos sistemas artificiais, que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água”. Desse modo, a construção civil é um setor estratégico para a implementação de medidas visando a redução do consumo de energia.

No projeto das edificações comerciais, as estratégias bioclimáticas e a valorização da comunicação visual desse tipo de estabelecimento devem ser incorporadas de forma integrada. Tomando-se como exemplo os edifícios de redes de supermercados (lojas de auto-serviço), a envoltória apresenta a importante função de fornecer à empresa uma identidade visual marcante, através da padronização da forma, das cores e dos materiais construtivos. Entretanto, no Brasil existem climas variados que exigem estratégias bioclimáticas distintas. Desse modo, as edificações cujos projetos são padronizados para todo o país deveriam possuir flexibilidade para se adaptar ao clima de cada local. No caso de Maceió, que está localizada em uma zona tropical úmida e recebe uma grande quantidade de radiação solar durante todo o ano, torna-se propícia a utilização de estratégias para o aproveitamento da iluminação natural na arquitetura, tais como: átios, persianas reflexivas, poços de luz, telhados com aberturas tipo shed, clarabóias, entre outros.

Outra característica dos projetos de supermercados é a existência de poucas aberturas para o exterior, a fim de restringir os ganhos térmicos em virtude do condicionamento de ar, importante para a conservação dos produtos expostos. Conseqüentemente, o aproveitamento da iluminação natural é negligenciado, forçando a utilização da iluminação artificial durante todo o horário de funcionamento do estabelecimento.

Tendo em vista a parcela significativa de consumo de energia referente à iluminação artificial em supermercados, verifica-se a necessidade de propor intervenções projetuais para favorecer a captação da luz natural sem prejudicar o desempenho energético do sistema de condicionamento de ar. Portanto, a disposição das aberturas do edifício, tanto nas fachadas quanto na cobertura, deve ser criteriosamente estudada para captar a luz natural e ao mesmo tempo assegurar o sombreamento adequado. Diante desta problemática, o presente trabalho toma como objeto de estudo o hipermercado da rede GBarbosa em Maceió, que apresenta a padronização de sua envoltória e poucas aberturas para o exterior.

2. OBJETIVO

Avaliar o potencial de aproveitamento da luz natural para complementar a iluminação geral da área de vendas do hipermercado GBarbosa, localizado em Maceió - AL, promovendo a integração deste recurso com o sistema de iluminação artificial, após reformulação do projeto luminotécnico original, visando a redução do consumo de energia elétrica.

3. MÉTODO

Tendo sido escolhido o hipermercado GBarbosa como objeto de estudo, o método proposto no presente trabalho consiste em analisar o sistema de iluminação artificial atualmente instalado quanto aos seguintes aspectos: atendimento do nível de iluminância necessário para o desempenho das tarefas visuais; consumo de energia e possibilidade de redução do mesmo e classificação do nível de eficiência energética. A partir dos resultados desta análise, foi definida uma proposta de melhoria no desempenho do sistema de iluminação, incluindo a substituição de equipamentos e redimensionamento da quantidade de luminárias, juntamente com a inserção de aberturas zenitais para a captação da luz natural.

3.1. Escolha do hipermercado GBarbosa como objeto de estudo

O hipermercado GBarbosa Stella Maris está localizado entre as ruas Eng. Paulo Brandão Nogueira e Coelho Neto no bairro Jatiúca (Maceió/AL) (Figura 1), tendo sido inaugurado em fevereiro de 2007. Esta loja é a mais recente dentre as três existentes da rede na capital alagoana e não sofreu até o presente momento nenhuma reforma (Figura 2).

A área interna do hipermercado GBarbosa é composta por pequenas lojas e pelo setor de vendas, que possui departamentos de mercearia, perecíveis, têxtil, bazar e eletrodomésticos (Figura 3). A área de vendas totaliza 5.312,5 m², concentrando o maior número de consumidores. Esta área foi escolhida para o desenvolvimento do presente estudo, dada a importância que um eficiente sistema de iluminação possui para a adequação do ambiente ao conforto dos consumidores, tornando o espaço mais agradável para a permanência dos usuários e, por conseguinte, favorecendo um maior número de vendas.



Figura 1 - Localização do hipermercado GBarbosa (Google Earth (adaptada), 2010).



Figura 2 – Vista externa do hipermercado GBarbosa.

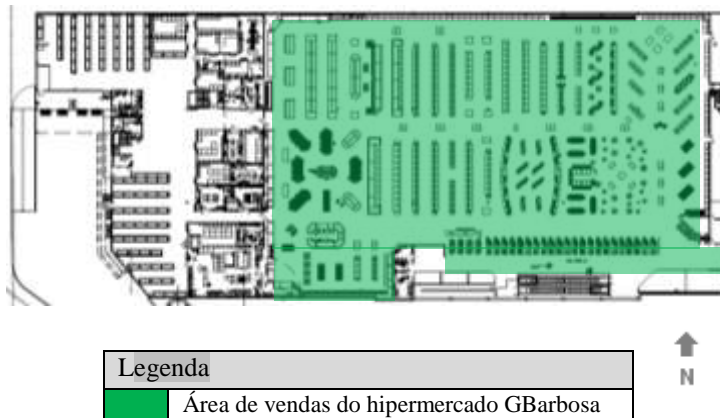


Figura 3 - Planta baixa do 1º pavimento do hipermercado GBarbosa.

3.2. Estudo da situação atual

3.2.1. - Estimativa de consumo

Inicialmente, foi realizado o levantamento da potência instalada e do consumo de energia correspondente às lâmpadas e reatores que compõem o sistema de iluminação geral atualmente instalado na área de vendas (Figura 4 e 5). A estimativa de consumo foi desenvolvida em função da quantidade de horas de uso dos equipamentos.



Figura 4 – Luminárias existentes no hipermercado.



Figura 5 – Luminárias existentes no hipermercado.

3.2.2. Estimativa do nível de iluminância: sistema de iluminação artificial

Os dados coletados sobre as luminárias e lâmpadas foram utilizados para a estimativa do nível de iluminância do sistema artificial através do método dos lumens. Segundo Luz (2009) o método “consiste em determinar a quantidade de fluxo luminoso (lumens) necessário para determinado recinto, baseado no tipo de atividade desenvolvida, cores das paredes e teto e do tipo de lâmpada-luminária escolhidos”. Para execução de cada tarefa é necessário verificar a iluminância indicada pela Norma Brasileira NBR 5413 – Iluminâncias de Interiores (ABNT, 1992). Para a área de vendas de ambientes comerciais, o nível de iluminância média pode ser de 300, 500 ou 750 lux, dependendo da idade dos ocupantes do ambiente, da velocidade e precisão requeridas para o desempenho da tarefa visual e da refletância de fundo da mesma. Optou-se por adotar o nível de 750 lux, visto que no ambiente em questão são desempenhadas tarefas visuais de maior complexidade, a exemplo da leitura de rótulos dos produtos, além de ser um espaço frequentado por consumidores de várias idades, inclusive pessoas idosas, que necessitam de níveis de iluminação mais elevados.

O cálculo do nível de iluminância (E) foi realizado utilizando-se a equação 1:

$$E = \frac{\phi_T \times F_U \times F_D}{A} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

ϕ_T = Fluxo luminoso total (lumens);

F_U = Fator de utilização da luminária (adimensional);

F_D = Fator de depreciação (0,8) (adimensional);

A = área do plano de trabalho (m²).

3.2.3. Classificação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação artificial

O nível de eficiência energética do sistema de iluminação geral instalado na área de vendas foi classificado através do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), utilizando o método das atividades do edifício, que avalia separadamente os ambientes da edificação. A aplicação deste método compreende as seguintes etapas: i) identificar as atividades desenvolvidas no edifício e consultar a densidade de potência de iluminação limite (DPI_L – W/m²) para cada nível de eficiência, para cada uma das atividades, de acordo com a Tabela 4.2 do RTQ-C (Portaria nº372 – INMETRO, 2010) e ii) multiplicar a área iluminada de cada atividade pela DPI_L, para encontrar a potência limite para cada atividade, comparando-a com a potência instalada real, a fim de classificar o nível

de eficiência energética do sistema de iluminação de cada ambiente. A classificação final do sistema de iluminação artificial do edifício é obtida por meio da ponderação das classificações de todos os ambientes, em função da área correspondente a cada um.

3.3. Proposta de reformulação do sistema de iluminação e aproveitamento da luz natural

Foi proposta uma reformulação do projeto luminotécnico atual, visando a redução do consumo de energia a partir da substituição dos equipamentos utilizados por outros de menor consumo, sendo que o nível de iluminância médio a ser mantido no ambiente corresponde a 750 lux.

Visando o aproveitamento da luz natural, foi proposta a inserção de dispositivos para iluminação zenital, distribuídos uniformemente no teto da área de vendas, correspondente a maior parte das gôndolas não refrigeradas, setor de perfumaria e caixas. As dimensões desses dispositivos são 1,3 m x 1,3 m, sendo os mesmos protegidos por estruturas opacas posicionadas a 0,8 m de altura, destinadas a evitar a incidência de insolação direta no interior do ambiente. Os dispositivos inseridos possuem aberturas orientadas para norte e sul, sendo o ângulo de proteção horizontal para o norte igual a 66° e para o sul igual a 79° . Convém salientar que trata-se de uma representação esquemática e simplificada, definida desta forma para possibilitar a modelagem computacional de acordo com as limitações da ferramenta, a fim de viabilizar a obtenção dos resultados.

A área total das aberturas zenitais é equivalente a 3% da área total da área de vendas. A Figura 6 ilustra a disposição das aberturas zenitais sobre a área de vendas. O desempenho da iluminação natural na nova proposta foi avaliado utilizando-se o programa computacional Troplux v. 4.0 (CABUS, 2010). A modelagem computacional é desenvolvida a partir de uma representação virtual do ambiente em estudo, considerando-se o seu volume real e as refletâncias das superfícies internas. A Figura 7 ilustra o modelo computacional utilizado para as simulações realizadas com o programa Troplux.

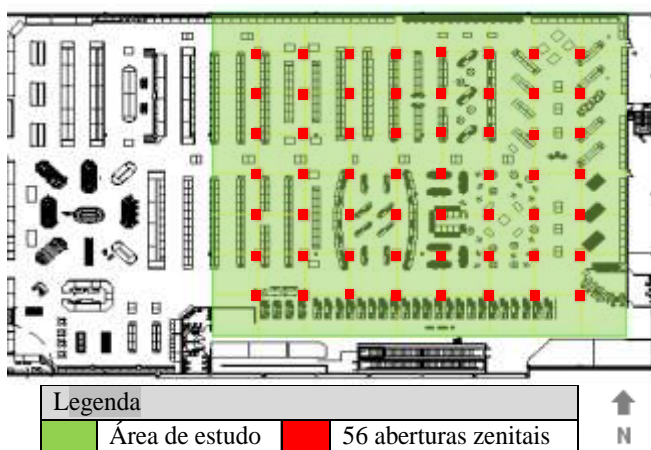


Figura 6 - Disposição das aberturas zenitais sobre a área de vendas.

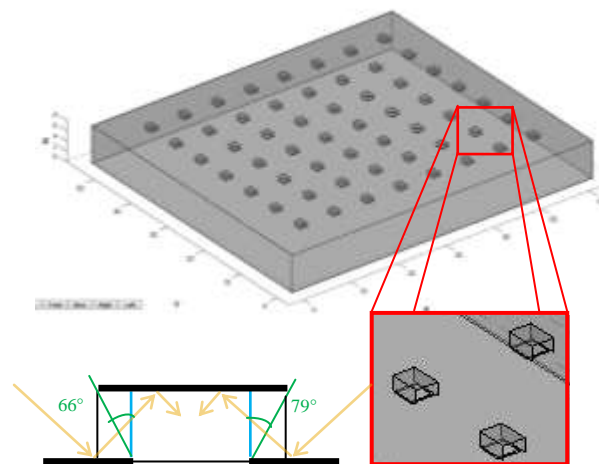


Figura 7 – Corte esquemático da abertura zenital e modelo computacional: programa Troplux.

É necessário definir qual a condição de céu a ser simulada (claro, encoberto ou parcialmente encoberto), o azimute da edificação, os dias e os horários que serão simulados. São definidos previamente quais os pontos de interesse no plano de trabalho, para os quais são estimados os níveis de iluminância. Pode-se obter também como resultado o número de horas nas quais os níveis de iluminância proporcionados pela luz natural em cada ponto escolhido são considerados suficientes para o desempenho de tarefas visuais. Para tal, o programa apresenta outro dado de saída, denominado UDI - *Useful Daylight Illuminance*. De acordo com Nabil e Mardaljevic *apud* Laranja (2010), a avaliação através da UDI estabelece os seguintes critérios: i) valores menores que 100 lux são considerados insuficientes para o desempenho de tarefas visuais; ii) valores no intervalo entre 100 e 500 lux podem ser utilizados para complementar a iluminação artificial e iii) valores entre 500 e 2.000 lux são considerados suficientes, não sendo necessário utilizar iluminação artificial. Por fim, valores maiores que 2.000 lux são caracterizados como excessivos, recomendando-se a adoção de estratégias para evitar possíveis ofuscamentos no plano de trabalho.

As simulações foram realizadas sob as três condições de céu, para todos os dias do ano, considerando-se o intervalo entre as 7h e 17h, correspondente ao período de funcionamento do supermercado para o qual há disponibilidade de luz natural. A estratégia a ser adotada para a redução do consumo de energia do

sistema de iluminação artificial consiste em identificar qual a parcela “útil” de luz natural disponível em cada uma das zonas internas do ambiente e sua variação ao longo do ano, utilizando-se como critério os valores de UDI obtidos nas simulações. Ou seja, a proposta compreende a inserção de aberturas zenitais e também a instalação de fotocélulas e dispositivos de controle do acionamento das lâmpadas, de modo que fosse mantida em funcionamento apenas a quantidade necessária para manter o nível de iluminância médio de 750 lux no interior do ambiente.

Uma vez obtidos os valores de UDI, verificou-se quantos lux seriam necessários para complementar o nível de iluminância de 750 lux em cada caso, a partir do emprego da iluminação artificial. Desse modo, foi possível estimar a quantidade de lâmpadas que deveriam ser mantidas acesas. Tal estimativa foi realizada utilizando-se a Equação 1 (cálculo do nível de iluminância a partir do método dos lumens). Por fim, foram comparadas as estimativas de consumo correspondentes a três situações: i) sistema atual; ii) sistema reformulado, sem a contribuição da luz natural e iii) sistema reformulado, com a contribuição da luz natural, verificando-se qual a economia proporcionada nas situações ii) e iii) em relação ao sistema atual.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Estudo da situação atual

Na área de vendas do hipermercado encontram-se instaladas 1816 lâmpadas fluorescentes tubulares T26, com 58W de potência e fluxo luminoso igual a 5.200 lm cada, posicionadas aos pares em calhas metálicas pendentes (Figura 8), a uma altura de 5,5 m em relação ao piso, sendo esta a altura útil considerada para a obtenção do nível de iluminância de 750 lux. Considerou-se um fator de depreciação igual a 0,8, sendo a refletância média das paredes e teto igual a 0,5. De acordo com o fabricante, o Fator de Utilização da luminária corresponde a 0,81. Utilizando tais informações e aplicando-se a Equação 1, o nível de iluminância correspondente a situação atual é igual a 1.151,85 lux, excedendo o limite considerado adequado para o ambiente em estudo. Desse modo, justifica-se a redução da quantidade de lâmpadas, possibilitando uma diminuição no consumo de energia. Estabelecendo-se o nível de iluminância igual a 750 lux e aplicando-se novamente a Equação 1, seriam necessárias 1.183 lâmpadas, portanto, 633 lâmpadas a menos do que no sistema atual.

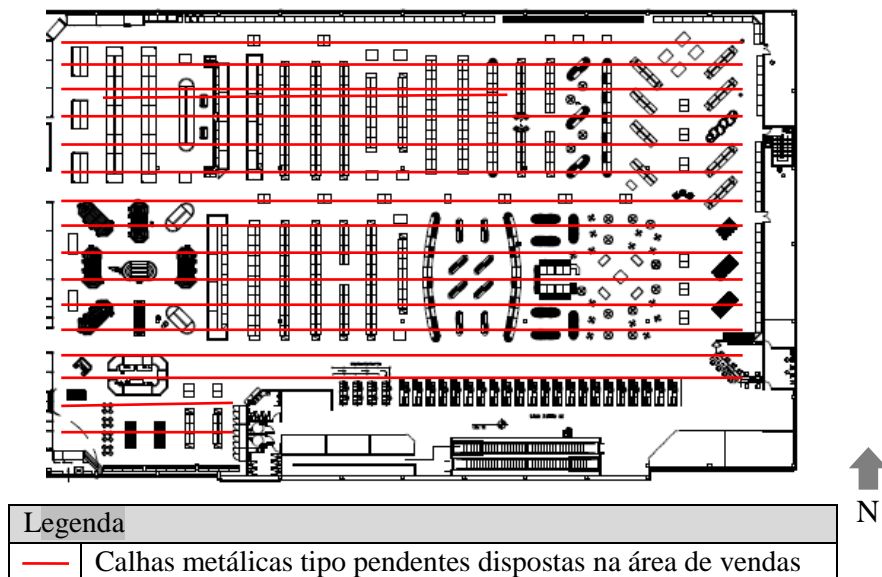


Figura 8 - Planta baixa do 1º pavimento do hipermercado com a indicação das luminárias existentes.

Com relação ao consumo de energia, a Tabela 1 apresenta o levantamento dos equipamentos instalados e a estimativa de consumo. Considerando-se apenas o sistema de iluminação geral (sistema L-5) o consumo de energia mensal totaliza 52.300,8 kWh.

Quanto a classificação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação artificial, aplicou-se o método das atividades do edifício proposto pelo RTQ-C, cujo critério de avaliação é a densidade de potência de iluminação (DPI_L). De acordo com a Tabela 1, a potência total instalada do sistema é de 114.380W, o que, para a área de vendas ($5.312,5m^2$), resulta no valor de DPI_L igual a $21,53W/m^2$. De acordo com a Tabela 2, que apresenta os limites de densidade de potência instalada de acordo com o RTQ-C, o nível de eficiência energética correspondente à área de vendas do hipermercado GBarbosa é “B”. Convém

salientar que a classificação nível “B” está vinculada ao atendimento de dois pré-requisitos, sendo que o sistema atual só atende a um deles: divisão de circuitos. Este pré-requisito determina que o ambiente deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna, sendo que em ambientes maiores que 1000 m² cada dispositivo de controle instalado deve controlar uma área de até 1000 m². A área de vendas, por não possuir aberturas para o exterior, não precisa atender ao segundo pré-requisito de contribuição da luz natural. Desta forma, a classificação do nível permanece como nível “B”.

Sendo assim, verifica-se um potencial de melhoria da eficiência energética do sistema de iluminação da área de vendas, que pode ser efetivada a partir de modificações dos equipamentos e dispositivos de controle do sistema de iluminação artificial, e também com o aproveitamento da luz natural, a fim de obter a classificação nível “A”, mais eficiente energeticamente.

Tabela 1 - Levantamento do sistema de iluminação artificial e estimativas de consumo correspondentes.

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO										
LÂMPADAS				LUMINÁRIAS			POTÊNCIA INSTALADA POR SISTEMA (W)	HORAS DE USO MÊS	CONSUMO POR SISTEMA (Wh)	CONSUMO POR SISTEMA (kWh)
Nome	Tipo(s)	Nº. lâmp.	Pot.(W)	Nº. lum	Tipo(s) de luminária	Pot. total do conjunto (lum. + reator) (W)				
L-1	Lâmp. Dicroica 50W 12V 38° Titan Osram. (OSR10004)	24	50	24	Spot mini dino c/ caixa p/ trafo (projetores direcionáveis)	55	1320	480	633600	633,6
L-2	Lâmp. Fluorescente comum tubular do tipo T8 de 58W/ 830	40	58	20	Plafonier pendente, instalação em linha contínua	120	2400	480	1152000	1152
L-3	Lâmp. Fluorescente comum tubular do tipo T8 de 36W/ 830	10	36	5	Plafonier pendente, instalação em linha contínua	76	380	480	182400	182,4
L-4	Lâmp. CDM-T 150W/942 PHILIPS (PHI20052)	8	150	8	Projetor de embutir direcionável) Embutido Dino P/CDM-T 150W	165	1320	480	633600	633,6
L-5	Lâmp. Fluorescente comum de 58W	1816	58	908	Calha contínua composta por 908 pares de lâmpadas	120	108960	480	52300800	52300,8

Tabela 1: Limite de Densidade de Potência Instalada em iluminação para o RTQ-C (Fonte: Portaria n.º 372 – INMETRO, 2010).

Ambiente	Limite ambiente	DPI _L W/m ² (Nível A)	DPI _L W/m ² (Nível B)	DPI _L W/m ² (Nível C)	DPI _L W/m ² (Nível D)
Comércio: Área de vendas	0,8	18,10	21,72	25,34	28,96

DPI_L (W/m²): densidade de potência de iluminação limite.

K (adimensional): índice do ambiente.

4.2. Proposta de reformulação do sistema de iluminação artificial e integração com a luz natural

Uma vez que o sistema de iluminação geral da área de vendas (conjunto L-5, vide Tabela 1) é responsável pela maior parcela de consumo de energia elétrica, foi proposta sua substituição por um conjunto mais eficiente energeticamente. A nova luminária escolhida comporta duas lâmpadas T16 de 54W, indicada para iluminação geral de supermercados, com fluxo luminoso de 5.000 lumens. Foi escolhido um reator eletrônico dimerizável, que possibilita regular o fluxo da lâmpada entre 1% e 100%.

Para este novo sistema, foi calculada a quantidade de lâmpadas necessárias para obter o nível de iluminância de 750 lux, aplicando-se a Equação 1. O total de lâmpadas necessárias é igual a 1.132 unidades, o que corresponde a uma potência instalada total igual a 72.774 W, incluindo reatores.

Com relação à classificação do nível de eficiência energética do novo sistema, considerando-se a potência total instalada e a área de vendas igual a 5.312,5 m², obteve-se o valor do DPI_L = 13,7 W/m². De acordo com a Tabela 2 do RTQ-C, a classificação obtida é nível “A”, já que o DPI_L encontrado é inferior ao limite máximo para este nível (18,10 W/m²).

Por fim, foi realizada uma nova estimativa de consumo. Considerando-se um total de 480 horas de uso por mês, o consumo mensal do novo sistema é igual a 32.329,92 kWh, o que representa uma redução de 38% em relação ao consumo do sistema atualmente instalado na área de vendas.

Visando obter uma economia ainda maior, foi proposta a integração do sistema de iluminação artificial com a luz natural. Nas simulações com o programa Troplux, a área interna do ambiente foi representada por 6 pontos uniformemente distribuídos (Figura 9), sendo que as simulações foram realizadas para todos os dias do ano, no intervalo de 7h-17h, tendo sido adotados três tipos de céu: 1- encoberto: 10 - parcialmente encoberto e 14 - claro.

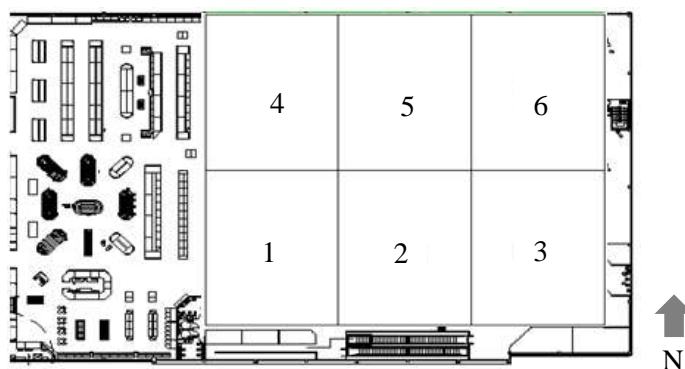


Figura 9 - Distribuição dos pontos simulados no Troplux.

Dentre as três condições de céu simuladas, o céu encoberto apresentou maiores percentuais de valores de UDI inferiores a 100 lux, sendo o maior percentual de 39,9%, de modo que nessas situações a luz natural não seria suficiente para complementar a iluminação artificial. Entretanto, para o intervalo 500 lux ≤ UDI ≤ 2.000 lux, em 63,6% das horas, haveria possibilidade de contribuição da luz natural no ambiente interno. Não foi verificada a ocorrência de valores de UDI maiores do que 2.000 lux sob esta condição de céu.

Sob condição de céu parcialmente encoberto, em 90,7% das horas simuladas os valores de UDI manter-se-iam no intervalo entre 500 lux e 2.000 lux, havendo, portanto, a possibilidade de empregar a luz natural para complementar a iluminação artificial. Sob condição de céu claro, em 89,6% das horas simuladas os valores de UDI também situaram-se no intervalo compreendido entre 500 e 2.000 lux.

Além dos valores de UDI, o *software* Troplux calcula também o valor máximo, médio e mínimo de iluminância de cada ponto especificado no plano do trabalho para todo o período simulado. Considerando-se o intervalo das 7h-17h, sob condição de céu encoberto, foram observados os menores valores de iluminância, sendo o valor mínimo igual a 29,4 lx no 4º ponto (vide Figura 9). Já o valor máximo foi verificado sob condição de céu parcialmente encoberto: 561,1 lux, no 2º ponto.

4.3. Impacto do aproveitamento da luz natural no consumo de energia

Com base nos resultados das simulações computacionais, verificou-se que mesmo sob a condição de céu menos favorável ao aproveitamento da luz natural (encoberto), a contribuição proporcionada pelas aberturas zenitais seria de no mínimo 100 lux em mais de 60% do intervalo considerado (7h e 17h). O valor de 100 lux foi adotado como referência para estimar o impacto do aproveitamento da luz natural no consumo de energia do setor de vendas do hipermercado em estudo. Portanto, restariam 650 lux a serem produzidos pelo sistema de iluminação artificial. Considerando-se a parcela de contribuição da luz natural e a existência de dispositivos de controles (fotocélulas e *dimmers*) associados ao novo sistema, conforme proposto no item 4.2, um novo cálculo foi efetuado para determinar a quantidade de lâmpadas necessárias para obter esta iluminância.

Aplicando-se a Equação 1, verificou-se que seriam necessárias 980 lâmpadas, dispostas em 490 luminárias, totalizando uma potência instalada igual a 58.310 W. Ou seja, ao invés de manter todas as 566

luminárias em funcionamento, 76 luminárias poderiam ser desativadas sempre que a luz natural proporcionasse a obtenção de níveis de iluminância superiores a 100 lux no intervalo entre as 7h e as 17h.

Em função das condições de céu, o total de horas nas quais a luz natural poderia ser aproveitada varia. Sob condição de céu encoberto, o consumo total para o sistema de iluminação, com a contribuição da luz natural, seria igual a 408.170 Wh. Nas 4h restantes, todo o sistema estaria em funcionamento, apresentando um consumo de 269.416 Wh.

Sob condição de céu parcialmente encoberto, dentre todos os pontos internos simulados, verificou-se que no mínimo em 85,1% do período de análise (7h-17h), os valores de UDI situar-se-iam no intervalo útil para o aproveitamento da luz natural, cuja contribuição seria de, no mínimo, 100 lux para a iluminação média do ambiente. Considerando-se um total de 9,5h (85,1% das 11 horas que compreendem o período de análise), onde a contribuição da luz natural mínima seria igual a 100 lux, o consumo do sistema de iluminação artificial para manter o nível de iluminância de 650 lux seria igual a 553.945 Wh. Nas 1,5h restantes todo o sistema estaria em funcionamento, apresentando um consumo de 101.031 Wh.

Sob condição de céu claro, dentre todos os pontos internos simulados, verificou-se que no mínimo em 81,8% do período de análise (7h-17h), os valores de UDI situar-se-iam no intervalo útil para o aproveitamento da luz natural, apresentando contribuição mínima de 100 lux para a iluminação média do ambiente. Considerando-se um total de 9h (81,8% das 11 horas que compreende o período de análise) onde ter-se-iam no mínimo 100 lux de contribuição da luz natural, o consumo total para o sistema, considerando-se esta contribuição, seria igual a 524.790 Wh. Nas 2h restantes todo o sistema estaria em funcionamento, apresentando um consumo de 134.708 Wh.

O aproveitamento da luz natural no ambiente em estudo resulta na redução do consumo de energia, sendo esta redução variável em função da condição de céu. Comparando-se o consumo do sistema atual com o consumo estimado para o novo sistema proposto, sob condição de céu parcialmente encoberto, a redução do consumo é de 45%. Sob condição de céu claro a redução no consumo estimado é de 44%. Já sob condição de céu encoberto é estimada em 43%.

5. CONCLUSÕES

Após as avaliações realizadas, observou-se que a escolha de equipamentos e controles de iluminação artificial mais eficientes energeticamente, integradas com a iluminação natural, podem reduzir o consumo de energia elétrica na área de vendas do hipermercado estudado. Além disso, a substituição dos equipamentos melhorou a classificação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação atual pelo RTQ-C. Tais ações contribuem ainda para uma melhor qualidade da iluminação no seu interior, de forma a valorizar mais os produtos expostos à venda e favorecer o conforto visual dos clientes, uma vez que o nível de iluminância média definido para o projeto atende às recomendações da NBR 5413.

A proposta de integração da iluminação artificial com a natural demonstrou que o aproveitamento de iluminação natural na área de vendas do hipermercado GBarbosa poderia ser efetuado sob qualquer condição de céu, apresentando redução no consumo de energia nas três situações. Convém salientar que a presente análise restringe-se à utilização da luz natural como recurso para iluminação geral da área de vendas do hipermercado, de modo que não foi avaliado o impacto da inserção das aberturas zenitais na carga térmica do ambiente. Entretanto, os dispositivos zenitais foram projetados com a proteção solar necessária para evitar a incidência da radiação solar direta no interior do ambiente, a fim de minimizar os ganhos de calor solar.

Por fim, conclui-se que a integração da luz natural com a iluminação artificial e a escolha de equipamentos e formas de controle energeticamente eficientes são medidas que devem ser incorporadas ao projeto ainda na fase de concepção. Cabe ao arquiteto planejar a integração entre a luz natural e o sistema de iluminação artificial em edificações comerciais, de modo a adequar as aberturas para o exterior com a comunicação visual da loja, respeitando a atividade desenvolvida no interior do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional De Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. Portaria n.º 372, de 17 de setembro de 2010. Rio de Janeiro, 2010.
- CABÚS, R. C. TropLux, versão 4.0. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/gruposquisa/grilu/>> Acesso em: 10 set. 2010.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L. e PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 2.ed.rev. São Paulo: ProLivros, 2004.
- LARANJA, Andréa Coelho. Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Rio de Janeiro, 2010. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- LUZ, Jeanine Marchiori da. Apostila luminotécnica. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>> Acesso em: 21 set. 2010.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. Relatório da Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Classe Comercial - AT – Supermercados / Hipermercados. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?View={5A08CAF0-06D1-4FFE-B33595D83F8DFB98}&Team=¶ms=itemID={CCF153AF-6BD3-4F2B-B373-3E514A6C2AAF};&UIPartUID={05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18}>> Acesso em: 10 nov. 2010.