

EDUARDO BREVIGLIERI PEREIRA DE CASTRO

Avaliação teórica do potencial de redução de consumo energético com iluminação artificial através do uso de sistemas integrados automatizados

Theoretical evaluation of potential energy consumption reduction with artificial lighting by means of automated integrated systems

Avaliação teórica do potencial de redução de consumo energético com iluminação artificial através do uso de sistemas integrados automatizados

Theoretical evaluation of potential energy consumption reduction with artificial lighting by means of automated integrated systems

Eduardo Breviglieri Pereira de Castro é Engenheiro Civil (UFJF, 1986). Mestre em Arquitetura (FAU/UFRJ, 1996). Doutor em Engenharia Mecânica (COPPE/UFRJ, 2005) e em Engenharia Civil (INSA de Lyon, 2005). Prof. Adjunto na Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. eduardo.castro@ufjf.edu.br

Eduardo Breviglieri Pereira de Castro is Civil Engineer (UFJF, 1986). Masters in Architecture (FAU/UFRJ, 1996). Doctorate Degree in Mechanical Engineering (COPPE/UFRJ, 2005) and in Civil Engineering (INSA de Lyon, 2005). Professor in School of Engineering at Federal University of Juiz de Fora. eduardo.castro@ufjf.edu.br

RESUMO

No Brasil, a iluminação de ambientes representa aproximadamente 22% dos gastos energéticos de um prédio comercial. Uma solução para reduzir este número é a integração do sistema de iluminação artificial da edificação à luz natural, o que pode ocorrer efetivamente quando o sistema artificial - ou partes dele - é ligado ou desligado em função dos níveis de luz natural atingindo os espaços interiores. Esta estratégia contribui não apenas para a economia de energia, mas também para a sustentabilidade global da edificação. Este artigo apresenta resultados de simulações computacionais executadas para determinar a redução teórica do consumo com iluminação artificial de um prédio comercial ao se utilizar um esquema integrado deste tipo, em que circuitos elétricos são projetados dispendo as luminárias em faixas paralelas à parede da janela. O software utilizado, Natlite, é proprietário e desenvolvido com esta finalidade. Dois tipos de condição de céu são considerados nas simulações. A geometria dos cômodos é determinada pelas suas proporções entre largura, profundidade e altura. Os resultados mostram que, integrando efetivamente a luz natural ao projeto luminotécnico, economias da ordem de 25% a 95% podem ser alcançadas para a cidade do Rio de Janeiro. No texto, inicialmente, a metodologia utilizada é descrita. Em seguida, os dados obtidos são apresentados na forma de tabelas e gráficos. Finalmente, são discutidas algumas considerações e implicações dos resultados para um projeto de arquitetura.

Palavras-chave: Edificação Sustentável. Iluminação Natural. Simulação Computacional.

ABSTRACT

In Brazil, lighting represents about 22% of total energy consumption of commercial buildings. An envisioned solution for reducing this value is the integration of the building artificial lighting system to daylight, what can effectively occur when the artificial system - or parts of it - is switched on or off as a function of daylight levels reaching the indoor spaces. Such a strategy can contribute not only to energy savings but also to the global sustainability of the building. This paper presents the results of computer simulations carried out to determine the theoretical reduction in consumption with artificial lighting in an office building when using an integrated scheme of this type, in which electrical circuits are designed by placing luminaires in parallel bands to the window wall. The software used, Natlite, was developed for this purpose. Two types of sky conditions are considered in the simulations. Their proportions of width, depth and height determine the geometry of the rooms. Results show that by effectively integrating daylight from windows in buildings with the artificial lighting system, energy savings ranging from 25% to 95% can be achieved in the city of Rio de Janeiro. In the text, initially, the methodology used is described. Then, the data obtained is presented in tables and graphs. Finally, some considerations are made about the findings and implications of the results for an architecture project.

Keywords: Sustainable Building. Natural Lighting. Computer Simulation.

Introdução

O uso de energia em prédios pode ser expresso pela quantidade de energia consumida no interior da própria edificação e no seu entorno direto. Esse consumo se deve a diversas utilizações, como condicionamento do ambiente (ar-condicionado ou calefação), iluminação elétrica (dos cômodos interiores e em alguns casos, do entorno exterior e fachadas), eletrodomésticos, etc. No Brasil, as maiores participações na estrutura de consumo do setor comercial referem-se ao condicionamento ambiental e à Iluminação, variando de 50% a mais de 70% do consumo total do setor, dependendo do segmento. As demandas com iluminação somente, representam a segunda maior fonte de gastos, com 22% do total (ELETROBRÁS, 2011).

Considerando as atuais conjunturas nacional e internacional - em que se verifica uma dificuldade em aumentar a estrutura de geração de energia nos níveis crescentes da demanda por este recurso e com poucos impactos ambientais -, é estratégico pensar em soluções para estas questões. Uma possível via é a exploração racional de recursos naturais renováveis em substituição a equipamentos eletro-mecânicos que tenham a mesma função operacional. Enquanto o uso de tal abordagem é bastante difícil para a solução de alguns problemas - o arrefecimento das edificações, por exemplo - a natureza provê, em outros casos, uma fonte alternativa que pode ser facilmente aproveitada. A iluminação natural dos ambientes construídos, pelo menos durante a fração diurna de um período de 24 horas em que há luz proveniente do sol e do céu, pode substituir o sistema tradicional baseado em lâmpadas elétricas.

A importância desse tipo de abordagem é baseada em pelo menos duas premissas. Primeiramente, há um fator puramente econômico, já que com a tecnologia hoje disponível, economizar energia é mais barato do que produzi-la. Só para se ter uma idéia, segundo dados da ELETROBRAS (2011), “a economia teórica em edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas poderia chegar aos 53 bilhões de kWh. Esta energia economizada seria suficiente para suprir anualmente cerca de 2,7 milhões de residências”. Ainda segundo a mesma fonte, “nas novas edificações, ao se utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50% do consumo, comparada com uma edificação concebida sem uso dessas tecnologias”. Além disso, a economia obtida dessa forma reverte em ganhos ambientais, como menores impactos ambientais ou menos poluição, e isto não à custa de outros investimentos, mas como um “efeito colateral”, um lucro adicional. Isso implica que, conservar energia elétrica ou combater seu desperdício, é a fonte de produção mais barata e mais limpa que existe, pois não agride o meio ambiente. Em segundo lugar existe, portanto, o fator relacionado à sustentabilidade e às implicações ambientais. Na verdade, entre os sete princípios da “construção sustentável” (KIBERT, 2008), pelo menos três se aplicam ao uso racional da luz natural: i) reduzir o consumo de recursos, ii) aplicar uma análise de custos baseada no ciclo de vida da edificação e,

iii) focar na qualidade. Geralmente, destes três princípios, apenas o primeiro é considerado num projeto que pensa no uso sustentável da luz natural. Mas também o custo de um sistema integrando luz natural e artificial é vantajoso, se pensarmos que os gastos adicionais iniciais de implantação podem ser mais que compensados pela redução do consumo energético ao longo do ciclo de vida da edificação. Além disso, em termos de qualidade, nenhuma fonte de luz artificial oferece ao usuário o mesmo conforto visual se comparado àquele alcançado pelo uso da luz natural.

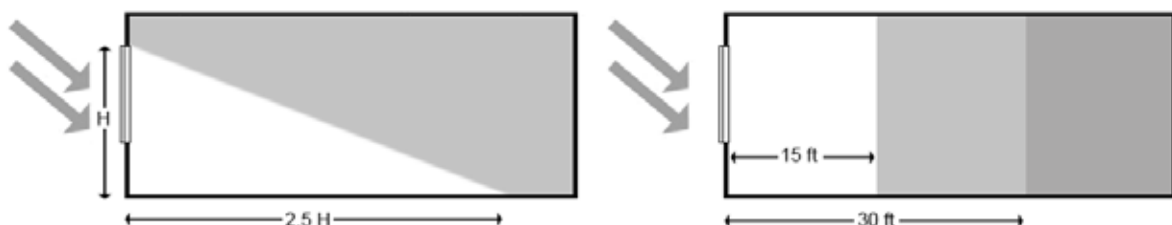
Estratégia de Iluminação Ideal

De acordo com as considerações acima, o cálculo da iluminação ideal, em termos de consumo de energia elétrica, está relacionado diretamente com a porcentagem de luz necessária para iluminação do cômodo que pode ser suprida pela luz do sol e do céu. Isso implica em se desenvolver uma estratégia baseada em iluminar artificialmente o ambiente apenas nos pontos e nos momentos em que a luz natural for insuficiente para utilização. Arquitetos e engenheiros envolvidos com iluminação já utilizam, com certa frequência, abordagens simples para aplicar esta estratégia aos seus projetos. Duas das mais conhecidas são a regra 2.5H e a regra 15/30 (KWOK e GRONDZIK, 2007). A primeira estabelece que a luz natural seja capaz de penetrar um cômodo até uma profundidade de 2.5 vezes a altura da abertura (janela). Já a segunda regra indica que uma abertura bem projetada consegue, em média: i) iluminar naturalmente o cômodo até uma profundidade de 15 pés; ii) iluminar naturalmente o cômodo com o auxílio de iluminação artificial entre 15 pés e 30 pés para dentro do ambiente e; iii) não iluminar em níveis aceitáveis profundidades além de 30 pés – o que implica no uso obrigatório de dispositivos artificiais além desta distância (ver figura 1).

FIGURA 1

Regras simplificadas para guiar o dimensionamento de janelas em relação ao uso de luz Natural. Regra 2.5H - à esquerda; e Regra 15/30 - à direita.

Fonte: adaptado de KWOK e GRONDZIK, 2007)



Abordagens mais sofisticadas e estudos de eficiência de estratégias de integração do uso da luz artificial e natural existem na literatura. Ihm et al (2009), Krarti et al (2005) e Li et al (2003), trabalharam com este conceito mas baseando-se em propostas de “dimerização” das lâmpadas ou interrupção de iluminação artificial na área de perímetro de salas (próximo às janelas).

Uma abordagem diferente, mais simples porém não menos precisa, pode, entretanto, ser proposta e desenvolvida, baseando-se não na “dimerização” de lâmpadas ou no uso de dispositivos sofisticados de iluminação, mas na simples divisão dos circuitos elétricos durante o projeto luminotécnico. Uma das vantagens de tal esquema é sua fácil compreensão e aplicação tanto para novas edificações quanto em projetos de “retrofit”.

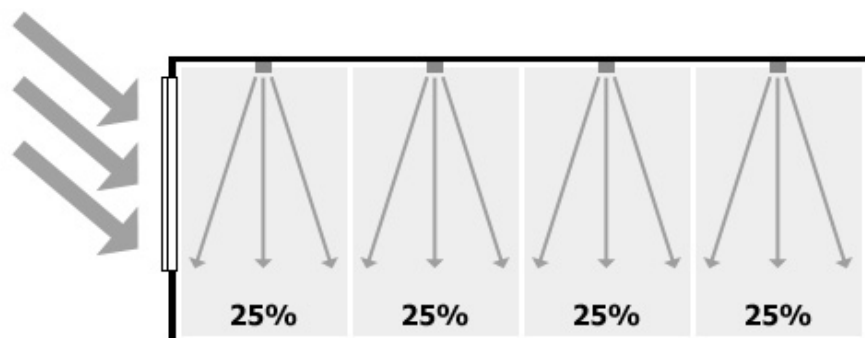
O cálculo passa inicialmente pelo conhecimento dos índices de iluminação que são função das tarefas realizadas dentro do ambiente. Para escritórios, por exemplo, esse índice varia, segundo diversas normas, de 200 a 1000 lux. Estabelecido o nível mínimo de iluminação adequado, a etapa seguinte é proceder ao cálculo da iluminação artificial necessária para suprir aquele nível, desconsiderando a luz natural disponível. Isso garante uma iluminação adequada para horários noturnos ou de pouca disponibilidade de luz natural.

Em seguida, baseando-se no conhecimento que os níveis de iluminação num cômodo iluminado por uma janela formam uma curva de distribuição que apresenta seu maior valor próximo ao plano da abertura e o menor valor próximo à parede oposta à abertura – como indica a regra 15/30 – pode-se imaginar que uma boa estratégia para uso eficiente da luz natural consiste em dividir teoricamente a área horizontal do ambiente num certo número de faixas paralelas à janela (figura 2), e associar a cada uma destas faixas um circuito elétrico correspondente para as luminárias situadas dentro das mesmas. Por fim, completando a estratégia, considera-se a existência de mecanismos automáticos para ligar/desligar esses circuitos de acordo com a quantidade de luz natural incidindo em cada faixa - o que pode ser realizado com o auxílio de sensores fotoelétricos, por exemplo).

FIGURA 2

Corte transversal de uma sala mostrando exemplo de esquema de iluminação artificial com 4 faixas de luminárias paralelas ao plano da janela.

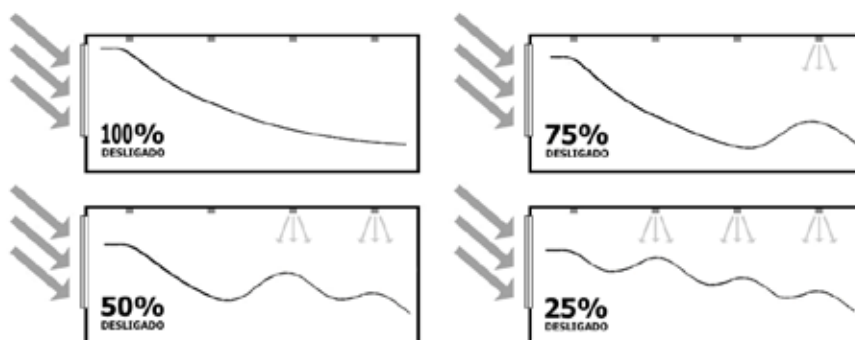
Fonte: autor



Obtém-se, assim, um esquema de iluminação integrado, em que só haverá dispêndio de energia com iluminação quando e onde realmente for necessário, ou seja, estar-se-á acoplando os dispositivos de luz natural (janelas) aos dispositivos de luz artificial. Desta forma, toda utilização do sistema de luz natural pode ser automaticamente considerada um ganho em termos de menor consumo de energia com luz artificial.

A economia energética obtida com o esquema descrito anteriormente vai depender tanto da quantidade de luz natural utilizável como do número de circuitos elétricos adotado. Para um esquema de quatro faixas, por exemplo, dependendo da quantidade de luz natural utilizável, pode-se obter uma redução instantânea de 25, 50, 75 ou até 100% do consumo (figura 3).

FIGURA 3
Cortes transversais de uma sala mostrando diferentes perfis de utilização da iluminação artificial e respectivas curvas de iluminamentos para o esquema com quatro faixas de luminárias paralelas ao plano da janela.
(Fonte: autor)



Como regra geral, o número de faixas deve ser tanto maior quanto mais profundo for o cômodo a ser iluminado. Para cômodos pouco profundos, o esquema de iluminação proposto funcionará, desta maneira, quase que com todas as luminárias ligadas ou desligadas ao longo de um período diário, já que a luz natural, quando disponível, será capaz de atingir níveis de iluminação adequados em todos os pontos do ambiente. Nesse caso, não haveria proveito no particionamento dos circuitos elétricos de iluminação. Por outro lado, para salas relativamente profundas, apenas a porção mais próxima da janela poderá ser adequadamente iluminada naturalmente, enquanto o fundo deverá ser iluminado artificialmente. Para essa situação, quanto mais estreita for cada faixa de luminárias, maior o potencial em se obter uma economia, pois melhor aproveitado será o recurso luz natural. Na prática, entretanto, esquemas deste tipo funcionarão melhor com o uso de 2, 3 ou no máximo quatro faixas, para se manter um nível adequado de simplicidade dos circuitos elétricos dentro do padrão habitual da indústria da construção. Por esta razão, nesta pesquisa, foi considerado e determinada a eficiência de um esquema com três faixas de luminárias.

A eficiência de tal estratégia vai depender também, além da profundidade do cômodo, da posição da janela na parede. Uma sala pouco profunda tem o potencial para ser totalmente iluminada pela luz natural, mas isso só ocorre se a janela possuir um tamanho suficiente e estiver bem localizada em relação aos

pontos interiores a serem por ela iluminados. Se a janela estiver muito deslocada em relação ao centro da sala, boa parte desses pontos poderão não apresentar os níveis de iluminação mínimos desejados, forçando o uso de iluminação artificial durante praticamente todo o tempo para iluminar o lado mais escuro da sala. A consequência direta desta limitação é que o esquema de iluminação integrado funciona melhor em prédios comerciais, em que as aberturas são geralmente dispostas ao longo de toda a largura do cômodo, não apresentando “pontos de sombra”.

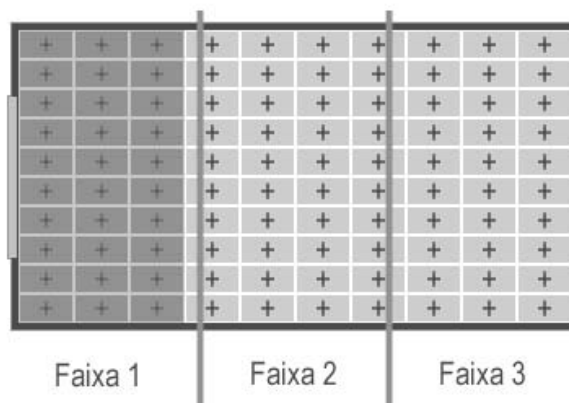
Devido a todas estas particularidades levanta-se, portanto, a questão: diante de tantas situações, qual o verdadeiro potencial de redução de consumo com o uso de tal sistema deste tipo? Para responder a esta pergunta, foi desenvolvida e apresenta-se a metodologia a seguir.

Metodologia

Baseando-se no esquema descrito no item anterior, a metodologia para o cálculo da quantidade de luz artificial necessária ao longo de certo período baseia-se nas distribuições horárias de iluminamentos sobre a superfície de um plano horizontal considerado. Para a determinação destas distribuições, a superfície de uma sala pode ser dividida teoricamente em uma grelha de pequenas áreas, numa configuração matricial (figura 4). Calcula-se em seguida para cada hora do dia, os iluminamentos no centro geométrico de cada uma dessas áreas obtendo-se, desta maneira, distribuições dos níveis de iluminação. Para verificação das necessidades de luz artificial, considera-se então os elementos desta matriz que estão contidos na área compreendida para cada uma das faixas (circuitos) de luz artificial, num certo momento. O critério utilizado para que as lâmpadas de um circuito sejam desligadas é que todos os elementos de área da faixa considerada apresentem níveis de iluminação superiores ao nível mínimo estipulado para a tarefa (figura 4). Obviamente, o número de elementos considerados vai depender do número de faixas em que foi dividido o esquema de luz artificial.

FIGURA 4
Vista superior de uma sala mostrando a grelha de pontos utilizados pelo software NatLite no cálculo dos perfis de utilização da iluminação artificial para um esquema com três faixas de luminárias paralelas ao plano da janela.

(Fonte: autor)

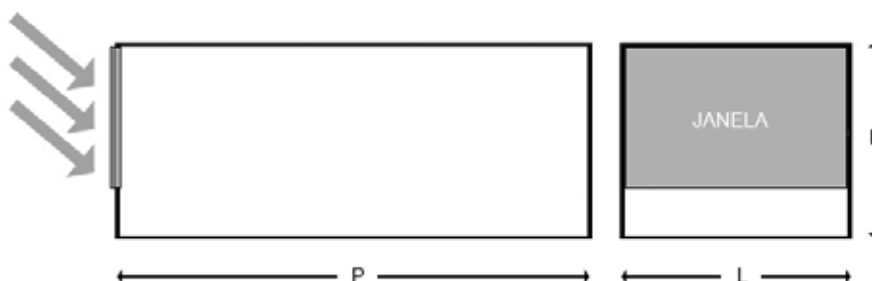


Todo este cálculo pode ser realizado de maneira simplificada utilizando-se um código computacional desenvolvido para este fim. Para o presente estudo, utilizou-se o software denominado Natlite (CASTRO et al, 2011; CASTRO, 2005), que determina os níveis de iluminação interiores baseado no modelo de Dogniaux (1985). Para determinação do potencial de economia de energia elétrica para uma ampla faixa de geometrias de cômodos, um total de 56 simulações foi realizado, considerando alguns parâmetros básicos: número de circuitos elétricos, local da simulação, orientação da fachada, dimensão de janela, nível de iluminação mínimo para realização de tarefas igual a 300 lux, dois tipos de céu diferentes e 28 proporções nas dimensões da sala. O nível de iluminação escolhido foi o menor possível para áreas de escritório, segundo o item 5.4.13 da NBR-5413 (ABNT, 1992). A redução do consumo de energia foi obtida comparando-se a energia total utilizada ao longo de 12 horas (06:00h a 18:00h) com iluminação artificial considerando o uso do sistema integrado, com a energia total utilizada ao longo do mesmo período com iluminação artificial considerando um sistema tradicional sem uso da luz natural (iluminação artificial unicamente).

A orientação sul da fachada foi utilizada, pois é a que apresenta menos problemas com o aproveitamento de luz natural, no nosso hemisfério. Para a região considerada, Rio de Janeiro, esta orientação permite a exposição da janela à porção da abobada celeste sem grandes preocupações com a carga térmica proveniente da exposição à radiação solar incidente em algumas épocas do ano. Para outras orientações, o estudo teria de ser muito mais complexo, pois a presença de radiação solar direta exigiria a previsão e uso de sistemas de proteção solar em boa parte do ano, modificando significativamente o desempenho do sistema integrado de iluminação.

Em relação à tipologia e dimensões da janela utilizada, todas as simulações consideraram a abertura abrangendo toda a largura do cômodo e toda a distância entre o parapeito ($h=0,75$ m) e o teto. Desta forma, para cada relação P/L e H/L , a dimensão da janela variou proporcionalmente (figura 5).

FIGURA 5
Aspecto da janela e geometria das salas utilizadas nas simulações. À esquerda, corte longitudinal. À direita, vista frontal.
(Fonte: autor)



Os dois tipos de céu considerados foram: i) céu totalmente encoberto e ii) céu claro, sem nuvens.

Em termos das proporções geométricas da sala, considerou-se sete diferentes relações entre a profundidade do cômodo e sua largura (P/L) e quatro diferentes relações entre a altura do cômodo e sua largura (H/L). As proporções de P/L consideradas foram: 1, 4/3, 5/3, 2, 7/3, 8/3 e 3, ou seja, as salas simuladas possuíam uma relação entre largura e profundidade variando entre 1 (profundidade = largura, cômodo de superfície quadrada) e 3 (profundidade 3 vezes o valor da largura). Por sua vez, as proporções de H/L consideradas foram: 1, 4/3, 5/3 e 2, ou seja, variando de 1 (altura = largura) até 2 (altura do pé-direito 2 vezes o valor da largura do cômodo).

Considerou-se ainda o nível de iluminação natural de 300 lux como o valor mínimo para disparar o desligamento dos circuitos elétricos nas simulações.

Além disso, como último parâmetro, todos os cálculos foram realizados baseando-se num número de três circuitos elétricos (de luminárias) paralelos à parede onde se encontra a janela.

Resultados e conclusões

Seguindo a metodologia exposta, obtiveram-se valores variando de 0 a 1 para as 56 simulações. Um valor 0 (zero) indica nenhum ganho com o uso do sistema proposto e um valor 1 (um) representa 100% de redução do consumo elétrico com iluminação (uso de luz natural unicamente). Os resultados estão organizados nas tabelas das figuras 6 e 7. A primeira tabela considera uma condição de céu claro e a segunda tabela uma condição de céu encoberto. Ressalta-se que apesar dos dados representarem valores para simulações considerando o dia 21/março, outras simulações cujos resultados não estão mostrados foram realizadas para todos os meses do ano e não apresentaram variações significativas nos valores correspondentes. Da mesma forma, diversas outras simulações foram realizadas com diferentes dimensões de cômodos, porém mantendo-se as proporções P/L e H/L. Também nestes casos, os valores encontrados não apresentaram variações significativas dos dados constantes nas tabelas, indicando que o importante para a eficiência do sistema de iluminação proposto são as proporções geométricas das salas e não as dimensões absolutas das mesmas.

FIGURA 6

Tabela de Redução do Consumo Energético com Iluminação Artificial / Orientação Sul / Céu Claro / $I_{\min}=300$.

Fonte: autor

P/L	H/L	1	4/3	5/3	2	7/3	8/3	3
1		0,93	0,93	0,92	0,88	0,84	0,81	0,56
4/3		0,95	0,93	0,93	0,92	0,91	0,87	0,83
5/3		0,96	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,87
2		0,96	0,95	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91

FIGURA 7

Tabela de Redução do Consumo Energético com Iluminação Artificial / Orientação Sul / Céu Encoberto / $I_{\min}=300$.

(Fonte: autor)

P/L	H/L	1	4/3	5/3	2	7/3	8/3	3
1		0,84	0,73	0,57	0,43	0,28	0,25	0,25
4/3		0,87	0,8	0,75	0,61	0,45	0,40	0,28
5/3		0,88	0,84	0,79	0,72	0,63	0,45	0,43
2		0,88	0,85	0,84	0,77	0,71	0,63	0,47

Para facilitar a análise dos resultados, estes foram tratados e então traçados em forma de gráficos, relacionando a redução do consumo com a proporção geométrica da sala P/L para cada tipo de condição de céu. Desta forma, quatro curvas representando as diferentes relações H/L são traçadas em cada gráfico (figuras 8 e 9). As curvas foram construídas através de ajustes polinomiais de grau 3 dos dados obtidos nas simulações.

Observando-se os resultados, algumas constatações podem ser feitas.

Inicialmente, percebe-se imediatamente que a variação da redução do consumo energético é muito maior para condições de céu encoberto que para céu claro, e que esta amplitude está relacionada tanto à proporção H/L quanto à proporção P/L do cômodo. Isto indica que para regiões de céu encoberto, o aumento da altura do cômodo e o conseqüente aumento das dimensões da janela traz proporcionalmente um maior benefício em termos de consumo energético com iluminação que para regiões de céu claro. Além disso, nesta situação, a variação da eficiência do sistema integrado está também relacionada à profundidade da sala. Espaços com profundidade de três vezes a sua largura, são aproximadamente três vezes menos eficazes na utilização da luz natural que espaços de superfície horizontal quadrada, sob condições de céu encoberto. Isto indica que em locais com prevalência deste tipo de céu, os projetos devem privilegiar espaços poucos profundos.

Para o céu claro, ao contrário, excluindo-se a situação de sala com pé-direito igual à largura, a redução do consumo se situa num limite teórico mais muito mais estreito de eficiência - entre 85 e 95% -, seja qual for a profundidade do cômodo. Em outras palavras, neste caso o uso de um sistema com fontes de luz natural+artificial é muito eficaz na redução de consumo energético, não importando as relações altura/largura ou profundidade/largura do espaço construído. Isto indica que em locais com prevalência de céu limpo sem nuvens, os projetos podem apresentar espaços mais profundos e ainda se beneficiar de uma imensa redução no consumo de energia com iluminação através do uso da luz natural.

Conclusões

Os resultados apresentados provenientes do tratamento dos dados das simulações podem servir de apoio às decisões de projeto por parte de engenheiros e arquitetos, no que diz respeito ao dimensionamento de espaços e integração de um recurso renovável, a luz natural, às edificações. Demonstra-se que uma boa estratégia para se alcançar uma redução significativa do consumo energético de espaços construídos é o uso de sistemas integrados automatizados consi-

FIGURA 8

Redução de Consumo com Iluminação Artificial para as relações de Profundidade X Largura e para as relações de Altura X Largura da Sala. Condição de Céu CLARO, Orientação Sul, $I_{min}=300$ lux. Considerando 3 circuitos de iluminação.

Fonte: autor

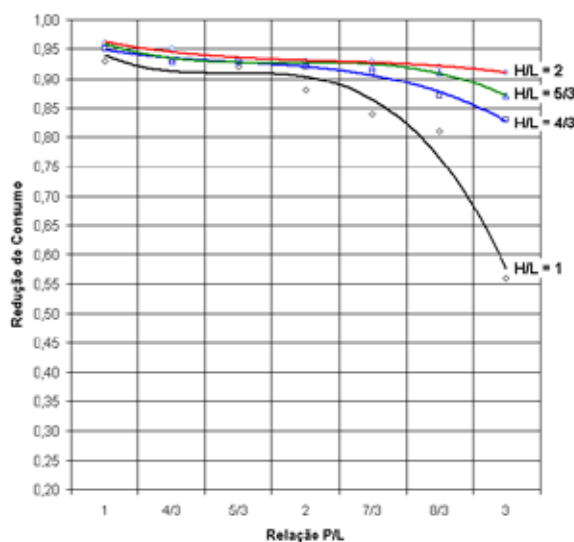
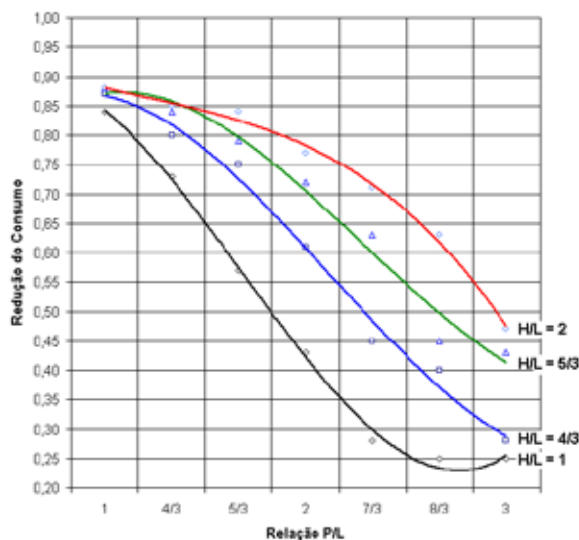


FIGURA 9

Redução de Consumo com Iluminação Artificial para as relações de Profundidade X Largura e para as relações de Altura X Largura da Sala. Condição de Céu ENCOBERTO, Orientação Sul, $I_{min}=300$ lux. Considerando 3 circuitos de iluminação.

Fonte: autor



derando a divisão de circuitos elétricos de iluminação em faixas. Através de simulações, conclui-se que esta redução pode variar de 25 a 95% do consumo total de energia gasta com iluminação na cidade do Rio de Janeiro, dependendo da geometria do cômodo e das luminâncias do céu considerado. Pode-se ainda afirmar que valores da mesma magnitude são obtidos para qualquer localização geográfica com latitudes próximas ao caso simulado. Estes resultados vêm de encontro a outros estudos de eficientização da iluminação de ambientes presentes na literatura científica, que se baseiam, entretanto, em outras abordagens mais complexas e menos adaptadas à realidade brasileira. Diferentemente de outras propostas, o esquema apresentado se caracteriza, assim, pela simplicidade e baixo custo de implantação, podendo ser aplicado indistintamente em edificações existentes – casos de “retrofit” - ou durante o projeto de novos espaços. Ressalta-se que, mesmo sem a automatização do controle dos circuitos de iluminação, ou seja, ainda que tal controle seja deixado a cargo dos usuários da edificação, de forma manual, uma redução do consumo pode ser alcançada, dependendo da conscientização e preocupação dos mesmos com o consumo de energia. Isto representa uma significativa contribuição na busca por prédios mais sustentáveis.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas/ABNT. **NBR 5413 – Iluminância de Interiores**. Rio de Janeiro, Brasil, 1992.

CASTRO, E. B. P. Método de auxílio à concepção arquitetônica baseado na análise multicritério e em dados simulados dos comportamentos da edificação. **Tese de doutorado**: COPPE / Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFRJ, Abril de 2005.

CASTRO, E. B. P.; VIGONE, J.; BASTOS, L. E.G. **Computer Tool to Aid Natural and Artificial Light Integration in Building Design**. IN: Anais do Building Simulation 2011/ BS2011. Sidney, Austrália, 2011.

DOGNIAUX, R. **Programme général de calcul des éclairagements solaires énergétiques et lumineux des surfaces orientées et inclinées**. Bruxelas, Bélgica: Institut Royal Météorologique de Bruxelles, 1985.

ELETOBRAS. **PROCEL On-line**. Disponível em < <http://www.eletobras.com/elb/procel/main.asp>>. Acesso em junho de 2011.

_____. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil – Sumário Executivo ano base 2005**. Disponível em < <http://www.eletobras.com/pci/main.asp>>. Acesso em junho de 2011.

IHM, Pyonchan; NEMRI, Abderrezek; KRARTI, Moncef. Estimation of lighting energy savings from daylighting. **Building and Environment**: v. 44, n. 3, p. 509-514, mar 2009.

Avaliação teórica do potencial de redução de consumo energético com iluminação artificial através do uso de sistemas integrados automatizados

Theoretical evaluation of potential energy consumption reduction with artificial lighting by means of automated integrated systems

KIBERT, Charles J. **Sustainable Construction**. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2008.

KRARTI, Moncef; ERICKSON, Paul M.; HILLMAN, Timothy C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. **Building and Environment**: v. 40, n. 6, p. 747-754, jun 2005.

KWOK, Aliso; GRONDZIK, Walter. **The Green Studio Handbook**. Oxford, UK: Elsevier, 2007.

LI, Danny H. W.; LAM, Joseph C. Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls. **Energy and Buildings**: v. 33, n. 8, p. 793-803, out 2001.