XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

O APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL E O USO CONSCIENTE DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NO EDIFÍCIO VILANOVA ARTIGAS - FAUUSP

Cristiane Mitiko Sato Furuyama (1); Joana Carla Soares Gonçalves (2); Eduardo Gasparelo Lima (3); Roberta Consentino Kronka Mülfarth (4); Marcelo de Andrade Romero (5)
(1) Doutora em Arquitetura e Urbanismo, cristiane.sato@usp.br, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, Rua do Lago, 876, +55 11 99388 7555
(2) Professora associada, jocarch29@gmail.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, Rua do Lago, 876, +55 11 3091 4571
(3) Mestrando em Arquitetura e Urbanismo, eduardo.gasparelo.lima@usp.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, Rua do Lago, 876, +55 11 98094 7206
(4) Professora associada, rkronka@gmail.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, Rua do Lago, 876, +55 11 3091 4571
(5) Professor titular, marcelo_romero@icloud.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, Rua do Lago, 876, +55 11 3091 4571

RESUMO
Edifícios educacionais apresentam elevado consumo energético, impactando de forma considerável nos gastos institucionais. O projeto da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP prevê a priorização dos espaços de construção de conhecimento coletivo, representados pelos estúdios. Tais espaços foram idealizados tendo em mente a luz zenital proveniente dos domos. Este trabalho busca avaliar o desempenho luminoso do edifício e posterior estudo de eficiência energética, com o intuito de desenvolver um plano de gestão a fim de educar seus usuários a utilizar de forma consciente a iluminação artificial, de maneira passiva, mantendo os equipamentos existentes. Para tanto, foram adotados procedimentos de naturezas indutiva-empírica e dedutivas-simulacionais. Os resultados encontrados pelos dois métodos mostram excelentes níveis de iluminância interna proveniente da luz natural. O cruzamento das informações levantadas acerca da iluminação natural e do sistema de iluminação artificial já existente apontam para uma economia de energia anual de 54% do que hoje é gasto, equivalendo a cerca de R$ 107.000,00 ao ano.
Palavras-chave: Iluminação natural, iluminância, simulação computacional, FAUUSP.

ABSTRACT
Educational buildings have a high energy consumption, with a considerable impact on institutional energy bill. The Faculty of Architecture and Urbanism of USP project prioritizes spaces where the students can learn collectively, like the studios. Such spaces were conceived from the use of the zenithal light provided by the domos. This work aims to evaluate the luminous performance of this building and also to study energy efficiency with the intention of developing a management plan in order in order to use artificial light more consciously in the university, in a passive way, keeping the existing equipments. To achieve this goal, procedures of inductive-empirical and deductive-simulational nature were adopted. The results found by both methods show excellent levels of internal illuminance from natural light. The cross-referencing of the information about natural lighting and the existing artificial lighting system points to an annual energy saving of 54% of what is now spent, the equivalent of R$ 107,000.00 per year.
Keywords: Natural light, illuminance, computer simulation, FAUUSP.

1. INTRODUÇÃO

Segundo o quarto relatório elaborado pelo Painel Internacional de Mudanças Climáticas (2007), o setor edilício é tido como o líder mundial em emissões de CO_2. O mesmo documento aponta ainda, em contrapartida, que o setor é também o que apresenta maior potencial na redução do gás em decorrência da qualidade dos projetos, dos avanços tecnológicos e do comportamento do usuário.

Sabe-se também que cerca de 25% do consumo mundial de energia primária refere-se ao uso e ocupação dos edifícios, sendo os países desenvolvidos a maior fração desse consumo (LEVINE et al., 2007).

O mesmo relatório do IPCC traz uma estimativa de 29% de redução na emissão de CO_2, a custo zero pelo setor. Tal possibilidade está, em grande parte, atrelada ao papel do usuário, responsável direto pelo desempenho energético das construções.

Quando se trata de edifícios educacionais, o consumo energético costuma ser elevado, refletindo diretamente nos gastos institucionais (RUPP et al., 2016 apud SEKKI et al, 2015). Escolas no Reino Unido, por exemplo, poderiam reduzir seus gastos energéticos em cerca de £44 milhões ao ano, prevenindo a emissão de 625.000 toneladas de CO_2 no ambiente (CARBON TRUST, 2012).

O edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo foi projetado por João Batista Vilanova Artigas em 1960-61 e sua construção foi concluída em 1969 no campus da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO), no Butantã. Segundo Contier (2015) os estúdios tiveram prioridade no programa do edifício. Esses espaços foram concebidos pelo arquiteto propositalmente sem aberturas para o exterior a fim de criar um ambiente de imersão, dotado apenas de iluminação zenital, desejável para as atividades de desenho e oferecendo as mesmas condições de iluminação para todos os usuários.



Figura 1 – Vista aérea dos edifícios da FAUUSP na Cidade Universitária, em São Paulo. Foto: Jorge Maruta.

O prédio foi tombado pelo CONDEPHAAT em 1982 e desde então qualquer intervenção que remeta à preservação do edifício deve estar relacionada à concepção original do arquiteto. A necessidade de manutenção do prédio era urgente, principalmente em relação à estrutura da cobertura, que apresentava problemas de estabilidade e estanqueidade desde a década de 90, e se tornou ainda mais evidente quando da interdição do Estúdio 3, em 2009. No ano seguinte, foi instalada uma tela de proteção que se estendeu pela área do Salão Caramelo (OKSMAN, 2011). Desde então, várias propostas de intervenção da cobertura foram realizadas.

Somente no ano de 2013 iniciou-se a reforma do edifício. Para a cobertura, considerou-se importante retomar o conceito original de Artigas em relação aos domos. Em outras palavras, a luz natural proveniente dos domos deveria ser parte do cotidiano do prédio, uma vez que, após 50 anos, os domos originais de fibra de vidro já não atendiam à função de transmissão luminosa.

A partir de estudos de iluminação e térmica realizadas por Pinho (2013), definiu-se, com exceção das salas de aula, que todos os domos da cobertura tivessem o fechamento com peça de acrílico simples de transmissão visual (Tvis) de 20%, a fim de causar o efeito difusor da luz necessário para o impedimento do acesso de radiação direta.

A reforma possibilitou também o *retrofit* do projeto luminotécnico com a substituição das antigas lâmpadas fluorescentes tubulares HO fixadas entre as estruturas portantes dos domos por sistema de iluminação artificial que utiliza lâmpadas fluorescentes tubulares T5 de 54W, com luminárias de luz direta e indireta com difusor, evitando possíveis ofuscamentos notados pelos ocupantes. Tal sistema ilumina o plano de trabalho de modo homogêneo, seguindo a concepção do arquiteto modernista, não havendo contrastes de luz e sombra. A luz indireta, por sua vez, ilumina e valoriza a estrutura da cobertura.

Uma iluminação inadequada para o desenvolvimento de qualquer atividade pode se tornar um risco físico e psicológico a todos. Isso não se restringe a apenas níveis baixos de iluminância. Exposições por tempo prolongado a fontes luminosas podem alterar o ciclo circadiano humano, responsável por regular o funcionamento do organismo em decorrência da disponibilidade de luz, adaptando o homem aos estímulos do meio em que habita (MARTAU, 2015). Além disso, estudos apontam que a falta de exposição à luz natural está relacionada a altos níveis de cortisol e baixos níveis de melatonina durante a noite, relacionando-se aos sintomas da depressão e da má qualidade do sono (HARB et al., 2015).

Assim sendo, níveis corretos de iluminação, em todos os programas arquitetônicos, devem ser atingidos para realizar determinadas tarefas e, somado a isso, a qualidade luminosa deve ser levada em consideração, priorizando quando possível a iluminação natural, tendo em vista não só a economia energética, mas também questões de saúde.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é a avaliação do desempenho luminoso do Ed. Vilanova Artigas, localizado na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira - CUASO -, e posterior estudo de eficiência energética, com o intuito de desenvolver um plano de gestão a fim de educar todos seus usuários a utilizar de forma consciente a iluminação artificial como se encontra hoje, aproveitando, com isso, a iluminação natural presente no interior do edifício da FAUUSP.

3. MÉTODO

A metodologia da pesquisa engloba as etapas descritas a seguir:

3.1. Método indutivo-empírico: Aferição dos níveis de iluminação

Foi feita a coleta de dados de iluminância interna durante um período de seis dias consecutivos, entre o dia 16 e 21 de março, abrangendo o equinócio de outono, para investigar os níveis de iluminâncias internos no edifício. A medição nesses dias de equinócio permitiu a aferição da luz natural em dias de céu claro e também nublado, típicos desta estação do ano, assim como do clima da cidade de São Paulo, classificada como Zona Bioclimática 3 pelo zoneamento proposto pela ABNT NBR 15220 (2005).

A medição interna foi realizada em intervalos de 15 minutos entre cada coleta por meio de dataloggers Hobo com fotocélula inclusa, modelo U12-012, posicionados em três ambientes, os mais significativos, do Ed. Vilanova Artigas: (I) Estúdio 3 - um datalogger; (II) Corredor das salas de aula - um datalogger; e (III) Sala de aula 812 - dois dataloggers. No estúdio, o equipamento foi instalado no centro do espaço. Para não atrapalhar o fluxo de acesso às salas, optou-se por centralizar o tripé com o equipamento apenas no eixo longitudinal do corredor, deslocando-o para próximo à empena. No caso da sala de aula, foram utilizados dois equipamentos em função da presença de domos com diferentes transmissões luminosas (Tvis), sendo dois terços da sala cobertos por domos de 20% de transmissão e um terça (próximo à parede de projeção) com domos de 7% apenas. Tais dataloggers foram posicionados ao centro de cada uma dessas áreas.

Os dataloggers do estúdio e do corredor ficaram posicionados em um tripé e os da sala de aula foram afixados juntamente à mesa do professor (domos escuros) e a uma carteira de estudo (domos translúcidos), ficando todos a uma distância de aproximadamente 0,75 m do nível do piso acabado, como recomendado pela ABNT NBR 15215-3 (2005). Vale ressaltar que, pelo fato da sala 812 se assemelhar a um anfiteatro, os dois equipamentos, apesar de possuírem alturas similares em relação ao chão, não se encontravam na mesma cota.

Concomitantemente às medições internas, o Instituto de Energia e Ambiente da USP - IEE - fez a coleta de dados horários de irradiação global no plano horizontal por meio de uma estação meteorológica do tipo Campbell Scientific. Esses dados foram cedidos pelo Instituto para a comparação com os dados medidos internamente. Para se obter os níveis de iluminação externa aproximados, foi utilizada uma equação desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT -, elaborada segundo pesquisas apresentadas no Relatório 13.257 (1978), que correlaciona radiação solar (encontrada a partir dos valores de irradiação global) e iluminância. Tal equação é apresentada por Alucci (2006) no *Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura* e é dada segundo a Equação 1:

$$E = 94 * R \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:
E é o nível de iluminação [lux]; e
R é o valor de radiação solar [W/m²].

3.2. Avaliação do desempenho de Iluminação Natural por meio de simulação computacional

Foram realizadas simulações computacionais para o cálculo dos valores de iluminância natural ao longo do dia em três períodos do ano: equinócios (21 de março e de setembro), solstícios de verão (21 de dezembro) e de inverno (21 de junho). Tais períodos limitam a trajetória solar na abóbada celeste, delimitando também os ângulos de incidência da radiação direta e as intensidades da radiação global. Para os três dias foram ainda considerados dois cenários distintos de condição de céu para a simulação, sendo um de céu claro e outro encoberto. As análises computacionais foram realizadas com a ferramenta Dialux EVO 8.0 de acesso gratuito. Essas simulações foram desenvolvidas apenas para o Estúdio 3, levando em consideração a multifuncionalidade do espaço, períodos longos de uso e de sua relevância para o projeto da FAUUSP.

Com respeito aos critérios de desempenho para análise, tomou-se como limite mínimo a faixa entre 250 e 300 lux, seguindo as recomendações de Mardaljevic et al. (2012). Essa variação de iluminâncias é baseada

em resultados de estudos de campo que registram as preferências e o comportamento de usuários de edifícios naturalmente iluminados, sem o impacto da radiação solar direta, como é o caso do edifício em questão. A partir dos resultados das simulações, foram extraídos os intervalos de horário para os três dias selecionados em que os níveis de iluminação nos estúdios são suficientes para o cumprimento de tarefas no plano de trabalho (estabelecido à 0,75m do piso) e com conforto visual.

Por meio da simulação computacional, foram geradas imagens com os resultados para cada hora do dia. No corpo deste artigo, optou-se por apresentar apenas os resultados que limitam o período de iluminâncias úteis, ou seja, aquelas acima da faixa supracitada, para a realização das atividades com quantidades satisfatórias de luz natural.

3.3. Levantamento e Mapeamento da Iluminação Artificial

Para a caracterização do funcionamento (uso e operação) do sistema de iluminação artificial do Edifício Vilanova Artigas, foram realizados o levantamento e o mapeamento desses sistemas em nove espaços internos com potencial de uso eficiente da luz artificial, incluindo as principais áreas de uso comum e circulação. Esses espaços encontram-se evidenciados na Figura 2 e são eles: (I) estúdios; (II) circulação dos estúdios; (III) circulação das salas de aula; (IV) área interdepartamental (A.I.); (V) circulação dos departamentos; (VI) rampas; (VII) Salão Caramelo; (VIII) circulação dos laboratórios; e (IX) estacionamento dos professores.

O levantamento incluiu a localização e quantificação do número de lâmpadas e luminárias, bem como a setorização dos circuitos de acendimento. Paralelamente, foi identificada a localização dos interruptores e das chaves de controle, assim como o funcionário ou setor responsável por esse controle.

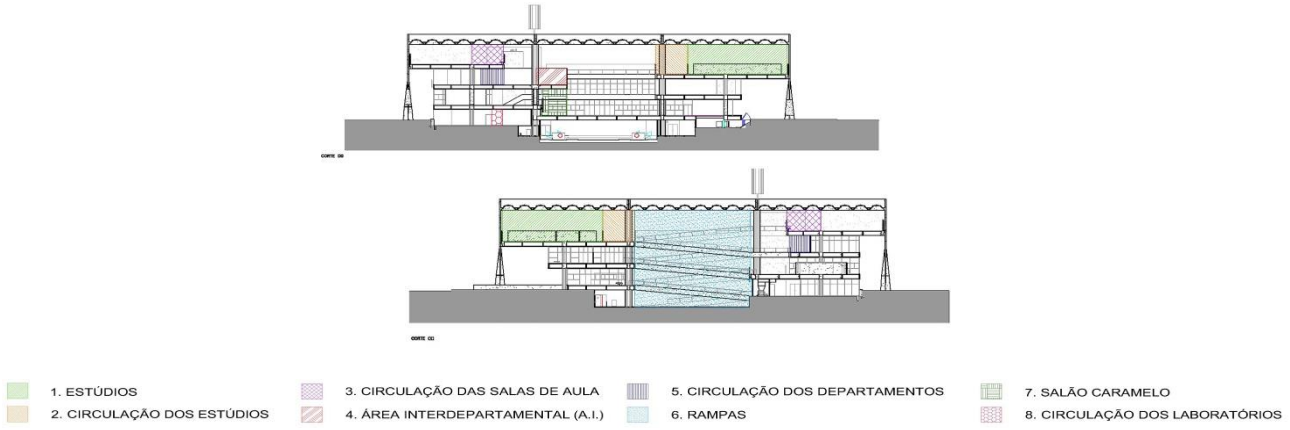


Figura 2 – Cortes indicativos com a localização dos espaços mapeados para estudo, sem escala. Elaborado pelos autores.

3.4. Compatibilização entre luz natural e artificial

Após o cruzamento dos dados obtidos, uma programação visando a gestão energética eficiente do sistema de iluminação foi elaborada com base em uma leitura dos resultados de desempenho luminoso obtidos para os estúdios. Foram levadas em consideração também às possibilidades oferecidas pelos sistemas de circuito e controle da iluminação artificial.

Os resultados das simulações de luz natural no espaço dos estúdios foram tomados como referência para suas áreas de circulação, bem como as das salas de aula e, consequentemente, para a elaboração da proposta de gestão do sistema de iluminação artificial desses espaços.

Para o contexto desses estudos técnicos, os períodos de outono e primavera foram estabelecidos como 1º de março à 30 de maio e 1º de setembro à 30 de novembro, respectivamente. O verão foi estabelecido entre 1º de dezembro à 28 de fevereiro e o inverno entre 1º de junho à 31 de agosto, tornando a abrangência do plano de gestão entre os funcionários maior e facilitando seu processo de implementação.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Após confrontados dos dados aferidos interna e externamente, foram confeccionados quatro gráficos que, além de constarem os níveis de iluminação coletados, também apresentam as características de céu predominantes para cada período do dia analisado (Figura 3).

Esses dias foram escolhidos pelas seguintes razões:

- Dia 16/03 - sábado: Dia não letivo e com baixos níveis de radiação;
- Dia 17/03 - domingo: Dia não letivo e com níveis médios de radiação;

- Dia 19/03 - terça: Dia letivo e com altos níveis de radiação; e
- Dia 21/03 - quinta: Dia letivo e com baixos níveis de radiação.

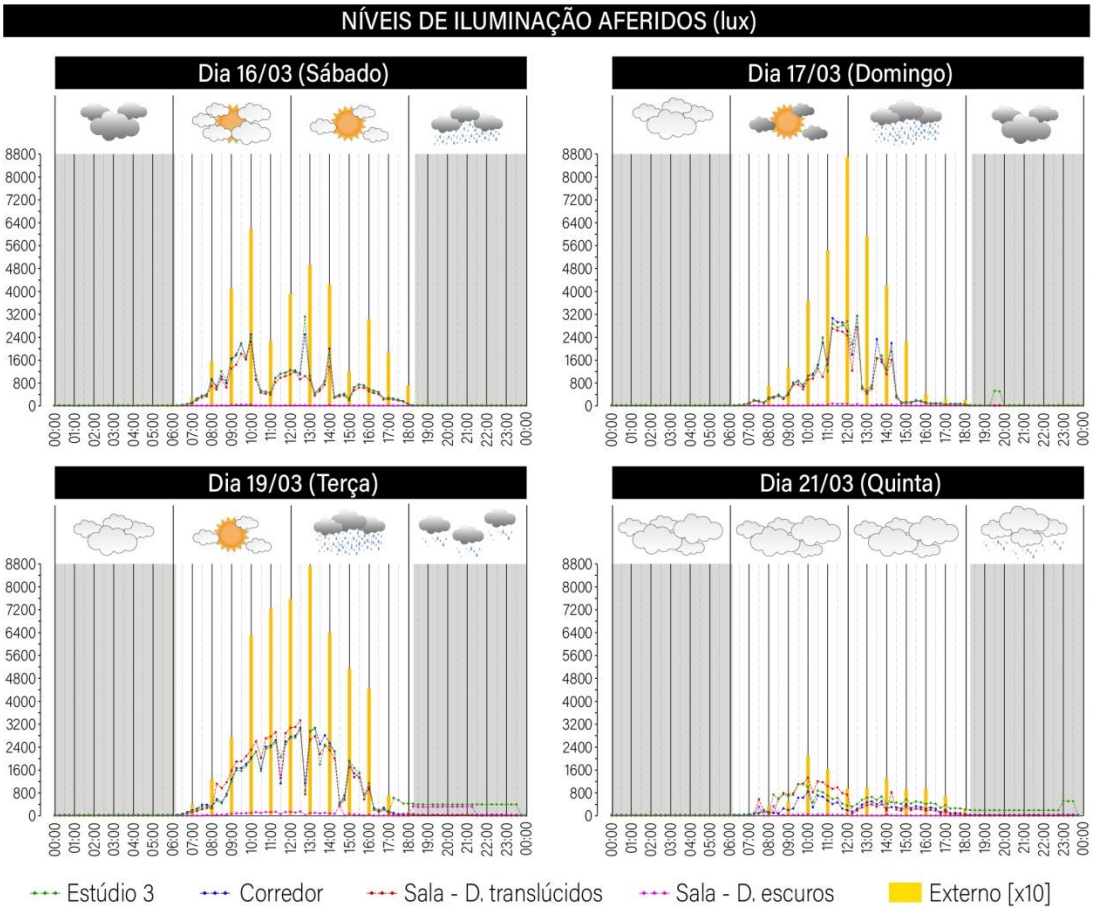


Figura 3 – Níveis de iluminação aferidos, em lux, nos dias 16, 17, 19 e 21 de março. Elaborado pelos autores.

A decisão de se tomar quatro dias de referência se deu pelo fato de que, em dias letivos, as iluminâncias coletadas são compostas pela luz natural e artificial. Isso fica evidente ao se analisar os gráficos dos dias 19 e 21 de março, em que, depois do pôr-do-sol, houve o registro de níveis de iluminação de 398 lux e 193 lux no estúdio nos dois respectivos dias, por exemplo. Essa diferença de valores é facilmente explicada pela quantia de circuitos ligados e desligados no ambiente (um total de quatro circuitos).

Internamente, o *datalogger* que computou os maiores valores de iluminância foi o localizado abaixo dos domos translúcidos da sala de aula, aferindo valores de até 3.500 lux durante o período de medição, com níveis externos extrapolando os 60.000 lux. Como este equipamento se encontra em uma cota mais elevada e, por isso, mais próximo à cobertura (principal acesso de radiação solar no edifício), já era esperado tal resultado. Ainda assim, o equipamento posto no corredor, no dia 16 (sábado), atingiu valores em torno de 3.200 lux, enquanto externamente esse valor girava em torno de 49.000 lux.

Ao se avaliar os dias com ocupação, ou seja, com a luz artificial ligada, e os finais de semana, quando foi medido apenas a luz natural, pode-se perceber uma variação nos ambientes de até aproximadamente 300 lux.

No dia de céu encoberto (dia 21/03), em que o maior nível de iluminação externa computada chegou a cerca de 20.900 lux, internamente a iluminância atingiu o valor máximo de 1.328 lux com o auxílio da luz artificial. Levando em consideração a variação de 300 lux entre os dias com e sem o uso de luz artificial, pode-se chegar a uma estimativa de 1.000 lux correspondente à parcela de luz natural interna. Esse valor já ultrapassa o recomendado para salas de aula, áreas de leitura de bibliotecas e salas de desenho técnico (300, 500 e 750 lux, respectivamente) na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013).

Além disso, pode-se constatar que os domos escuros são capazes de barrar mais de 90% do nível de iluminância recebido na face externa. No dia mais ensolarado, com valores externos ultrapassando os 75.000 lux, internamente os dados chegavam a valores próximos de 2.500 lux, com exceção da área de domos negros, que atingia níveis em torno dos 130 lux.

A partir das medições realizadas, considerou-se que os Estúdios são os ambientes com maior potencial de economia de energia relacionado à iluminação natural e artificial do edifício, pois as salas de aula e a circulação das mesmas são utilizados na maior parte no período da manhã e a noite, e o controle de acendimento dos ateliês é realizado por funcionários.

Os resultados das simulações do solstício de verão estão apresentados na Figura 4. Observa-se que para o dia de céu claro, entre às 7:30h e 16:30h, tem-se no plano de trabalho um nível médio a partir de 300 lux, o que já é considerado ideal para as atividades de estúdio, segundo Mardaljevic (2012). Considerando que no verão há o chamado "horário de verão", que adianta em 1h os horários, pode-se assumir que entre 8:30h e 17:30h, aproximadamente, os estúdios podem permanecer com o sistema de iluminação artificial desligado. Quando o céu está nublado no solstício de verão, naturalmente, o período do dia com iluminâncias úteis, com o mínimo de 250 a 300 lux, diminui, ficando entre às 10:00h e 15:00h. Novamente, considerando o horário de verão, na prática, o intervalo varia entre às 11:00h e 16:00h.

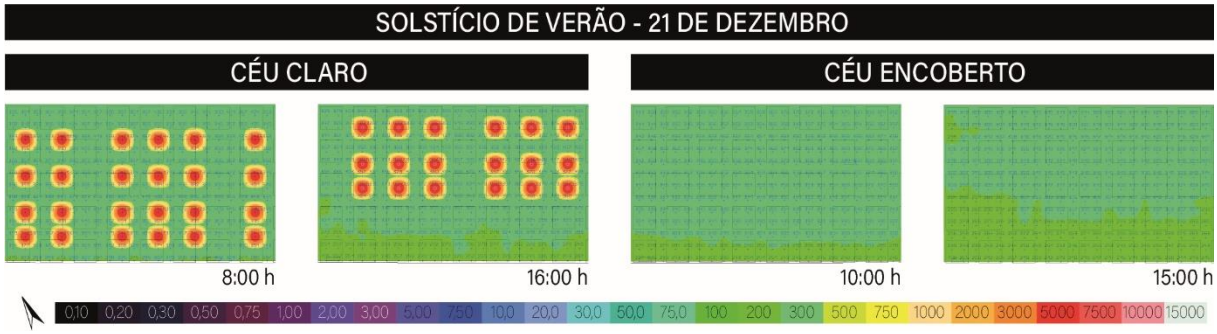


Figura 4 – Resultados das simulações para o Solstício de Verão, para céu claro e encoberto. Elaborado pelos autores.

Os resultados do solstício de inverno estão apresentados na Figura 5. No caso do cenário de céu claro, observa-se que o período de iluminâncias úteis se restringe entre 9:00h e 15:00h, enquanto que, no caso do cenário de céu encoberto, o período se reduz sensivelmente para o intervalo entre 11:00h e 14:00h.

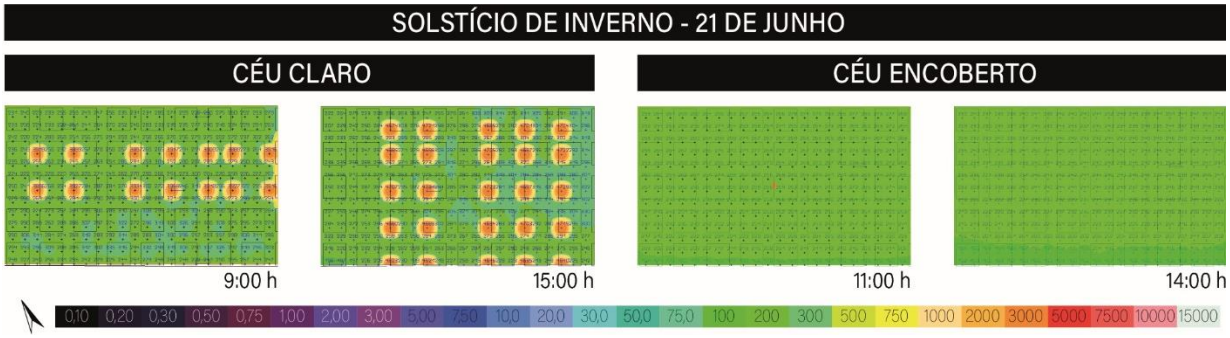


Figura 5 - Resultados das simulações para o Solstício de Inverno, para céu claro e encoberto. Elaborado pelos autores.

Os resultados para os equinócios estão apresentados na Figura 6. Observa-se que sob a condição de céu claro, podemos manter desligados os sistemas de iluminação das 8:00h às 16:00h, semelhante ao dia de verão, porém, no cenário de céu encoberto, o período do dia com iluminâncias úteis reduz significativamente no período da manhã e um pouco no período da tarde, permanecendo entre o intervalo das 11:00h às 15:00h.

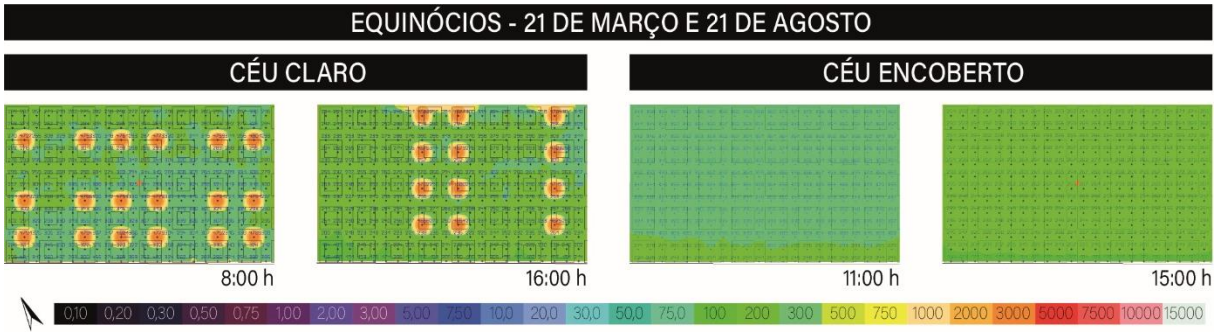


Figura 6 - Resultados das simulações para os Equinócios, para céu claro e encoberto. Elaborado pelos autores.

Apesar do período caracterizado por quantidades suficientes de luz natural variar em cada um dos cenários simulados, um padrão se repete ao longo das diferentes estações: nos dias de céu encoberto as

iluminâncias ao longo do ambiente de estudo, na altura do plano de trabalho, são significativamente mais homogêneas do que nos dias de céu claro. Isso se deve, em parte, pelo fato de os domos na cobertura serem o principal meio de acesso de iluminação nessas áreas, ou seja, encontram-se no plano do envelope do edifício que recebe radiação direta por mais tempo durante o dia.

Nesse sentido, no dia de céu encoberto, durante o verão, os valores variam entre 141 e 381 lux no período da manhã e entre 153 e 372 lux no período da tarde. No dia de céu claro, essa variação aumenta para o intervalo entre 412 e 3.462 lux no período da manhã e passa para 277 e 3.179 lux no período da tarde. Sobre condições de céu encoberto no solstício de inverno, os valores variam entre 94 e 262 lux no período da manhã e entre 113 e 254 lux no período da tarde e no dia de céu claro, essa variação aumenta para o intervalo entre 120 e 1501 lux no período da manhã e 179 e 1.193 lux no período da tarde. Com respeito às condições de céu encoberto nos dias dos equinócios, os valores variam entre 104 e 391 lux no período da manhã e entre 103 e 377 lux no período da tarde. Já no dia de céu claro, essa variação aumenta para o intervalo entre 130 e 2.643 lux no período da manhã e passa para 111 e 2435 lux no período da tarde.

Com especial atenção aos resultados de iluminâncias para os dias de céu claro, as áreas que se formam com maiores quantidades de luz se deslocam no espaço de acordo com o dia e a hora do ano, uma vez que são a projeção do impacto da radiação solar direta no plano exterior dos domos. No entanto, vale destacar aqui que, pelo fato dessas estruturas serem constituídos de material translúcido e não transparentes, não há a formação de manchas de luz e sombra no plano de trabalho, referindo-se, portanto, à intensidade luminosa apenas.

O levantamento do sistema de iluminação artificial nos estúdios totalizou o quantitativo de 639 luminárias pendentes com difusor e duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 54W. Nos Estúdios 1 e 5, os circuitos estão divididos em três partes. Já nos Estúdios 2, 3 e 4 estão divididos em quatro partes. O Estúdio 3 encontra-se ilustrado na Figura 7.

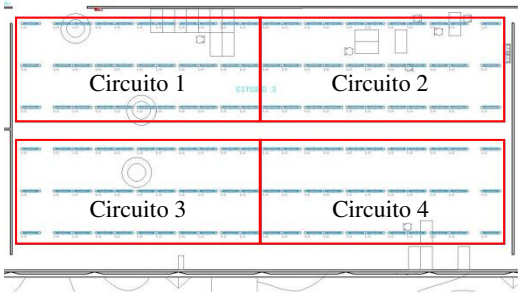


Figura 7 – Mapeamento do sistema de luz artificial no Estúdio 3. Elaborado pelos autores.

Os controles de acendimento desses sistemas estão localizados próximo ao Estúdio 1 e dentro do Estúdio 5. No primeiro, estão os interruptores dos Estúdios 1 e 2 e da área de convivência dos alunos (“chiqueirinho”). No Estúdio 5 estão localizados os interruptores dos Estúdios 3, 4 e 5. O controle dos interruptores é acessível a qualquer usuário do edifício. Além disso, o período de uso, com ou sem a presença de ocupantes, independe da contribuição da luz natural. Em outras palavras, não são dotados de sensores de presença e/ou luminosidade.

Na circulação dos estúdios, há 36 luminárias com duas lâmpadas fluorescentes tubulares de 54W em um único circuito. O controle do acendimento desse trecho é realizado diretamente no quadro geral localizado dentro da bedelaria, com acesso restrito aos funcionários da portaria e segurança.

Cruzando as informações obtidas com a simulação de luz natural e o levantamento dos sistemas de iluminação artificial, uma programação para a gestão energética eficiente do sistema de iluminação foi elaborada a partir do desempenho luminoso do estúdio, associado às possibilidades oferecidas pelos sistemas de circuito e controle da iluminação artificial existentes.

Os resultados das simulações de luz natural dos estúdios foram tomados como referência para seus espaços da circulação e os das salas de aula e, consequentemente, para a elaboração da proposta de gestão do sistema de iluminação artificial dessas áreas.

Além de considerar as possibilidades dos circuitos existentes, como já dito, essa “agenda” levou em conta o calendário letivo da USP (com julho, janeiro e parte de fevereiro sem aulas) e a grade horária dos cursos de graduação da FAUUSP (Arquitetura e Urbanismo e Design, cursos integral e noturno, respectivamente). Assim, para o período diurno, quando acontece o curso de Arquitetura e Urbanismo, considerou-se que a maior parte das aulas matutinas acontecem de 8:00h às 12:00h, dentro das salas de aula, e somente na parte da tarde, das 14:00h às 18:00h, as aulas ocorrem nos estúdios.

Somado a isso, o programa de gestão aqui sugerido também considerou que a iluminação artificial dos principais espaços do edifício é acionada às 5:30h da manhã para o trabalho da equipe de limpeza e posteriormente desligada às 23:00h, quando se encerram as aulas do curso de Design, em todos os dias da semana. A iluminação de partes das áreas de circulação é acesa de 1 em 1 hora para rondas da equipe de segurança.

As Tabelas 1, 2 e 3, a seguir, contém as sugestões de horário para o controle do sistema de iluminação artificial nos estúdios e sua circulação, para o período diurno. Sabe-se que, quando houver necessidade, os sistemas de iluminação podem ser ligados ou desligados fora dos horários sugeridos. Em períodos de férias,

por exemplo, os estúdios, a área interdepartamental, a circulação dos estúdios e das salas de aula ficam praticamente vazios, podendo ficar desligados por um intervalo de tempo ainda maior do que o aqui proposto.

Nos espaços em que o controle sob o acendimento das luminárias é restrito, como é o caso das circulações, dos dois últimos lances das rampas e do estacionamento dos professores, a implementação da proposta de gestão pode ser imediata. Por outro lado, nos locais onde o controle dos interruptores é de acesso geral ao público, como nos estúdios e na área interdepartamental, é preciso que seja criada uma estratégia de controle envolvendo uma ou mais equipes de funcionários, concomitantemente a uma campanha de conscientização de todos os usuários (funcionários, docentes, alunos e visitantes) sobre práticas para a economia de energia.

Tal campanha sobre o potencial de aproveitamento da luz natural em decorrência de um uso racional da iluminação artificial se faz necessário para a conquista de economias significativas de energia elétrica para os sistemas de iluminação artificial, no edifício como um todo. Isso se dá pelo fato do papel ímpar do usuário na eficiência energética predial.

Tabela 8 – Programação para gestão da iluminação artificial para o período de verão.

Período de verão (Período: 01 de dezembro a 28 de fevereiro)				
Ambientes	Céu claro		Céu encoberto	
	Apagar	Acender	Apagar	Acender
Estúdios	8:30h	17:30h	11:00h	15:00h
Circulação dos estúdios	7:00h	17:00h	10:00h	16:00h

Tabela 2 – Programação para gestão da iluminação artificial para o período de outono e primavera.

Período de outono e primavera (Período: 01 de março a 30 de maio – 01 de setembro a 30 de novembro)				
Ambientes	Céu claro		Céu encoberto	
	Apagar	Acender	Apagar	Acender
Estúdios	8:00h	16:00h	11:00h	15:00h
Circulação dos estúdios	7:00h	17:00h	10:00h	17:00h

Tabela 3 – Programação para gestão da iluminação artificial para o período de inverno.

Período de inverno (Período: 01 de junho a 31 de agosto)				
Ambientes	Céu claro		Céu encoberto	
	Apagar	Acender	Apagar	Acender
Estúdios	9:00h	15:00h	11:00h	14:00h
Circulação dos estúdios	8:00h	16:00h	10:00h	15:00h

5. CONCLUSÕES

Com base no levantamento das características e especificações dos sistemas de iluminação artificial e suas rotinas de uso e operação e, considerando a proposta elaborada para sua gestão, foram então calculadas as possíveis economias de energia a serem alcançadas com um uso mais eficiente da iluminação artificial. Inicialmente, foram calculadas as potências totais de energia por ambiente. Somando a potência dos cinco estúdios, a área de vivência e sua circulação, o consumo total é de 77.625W.

Na sequência, nas tabelas seguintes são mostrados os valores de consumo de energia para o cenário atual e o de gestão proposto, com os valores referentes à consequente economia de energia (kWh) e financeira.

Assim como feito para o plano de gestão, os cálculos de economia foram feitos por estações do ano. De acordo com a análise dos dados climáticos de São Paulo feita por Marcondes-Cavaleri, Cunha e Gonçalves (2018) foram assumidas as seguintes condições de céu para cada estação do ano: (I) céu claro por todo o tempo para os períodos de outono e primavera; (II) céu claro por 2/3 do tempo e céu encoberto por 1/3 do tempo para o inverno; e, (III) céu claro para o verão, quando se tem os maiores valores de iluminância no céu e, consequentemente, quando pode ser alcançada a maior independência da iluminação artificial.

Vale ressaltar que a economia em relação ao uso da iluminação artificial nos estúdios pode ser ainda maior do que a estimada para a proposta em questão. Isso porque na maioria das vezes os Estúdios 3 e 5 ficam

vazios tanto no período da manhã quanto da tarde e, por isso, podem permanecer com a iluminação artificial desligada, mesmo fora dos períodos recomendados nas Tabelas de 1 a 3. Além disso, pela grade horária da faculdade, os estúdios ficam vazios na maior parte do tempo no período da manhã. Como os circuitos dos estúdios estão divididos em 3 ou 4, dependendo do estúdio, quando esse não está sendo utilizado em sua totalidade, o sistema de iluminação artificial pode ser parcialmente acionado, servindo apenas ao terço ou quadrante ocupado.

Segundo dados fornecidos pela Superintendência do Espaço Físico (SEF) da USP, o valor pago no mês de setembro de 2018 pela unidade foi de R$ 0,48621 por kWh. Aplicando esse valor de referência às economias de energia apresentadas nas Tabelas 4, 5, 6 e 7, conclui-se que durante um ano típico, considerando apenas os dias da semana, a economia de energia alcançada no Edifício Vilanova Artigas em função do uso eficiente da iluminação artificial atinge um valor de 60% no período de verão. No outono e na primavera, a economia nos estúdios cai para 58%, e no inverno, apesar de menores, as economias também são relevantes, ficando em 49% nesses ambientes, somando o valor de aproximadamente R$ 96.000,00.

Tabela 4 – Potencial de economia no consumo de energia dos sistemas de iluminação artificial para o período de verão.

VERÃO (dezembro a fevereiro)					
Ambientes	Consumo atual (kWh)	Consumo sugerido (kWh)	Economia em kWh	Economia em R$	Economia em %
Estúdios	79.951,68	30.569,76	49.381,92	R$ 24.009,98	62%
Circulação	6.359,04	3.709,44	2.649,60	R$ 1.288,26	42%
TOTAL:	86.310,72	34.279,20	52.031,52	R$ 25.298,24	60%

Tabela 5 – Potencial de economia no consumo de energia dos sistemas de iluminação artificial para o período de outono.

OUTONO (março a maio)					
Ambientes	Consumo atual (kWh)	Consumo sugerido (kWh)	Economia em kWh	Economia em R$	Economia em %
Estúdios	82.450,17	33.950,07	48.500,10	R$ 23.581,23	59%
Circulação	6.557,76	3.825,36	2.732,40	R$ 1.328,52	42%
TOTAL:	89.007,93	37.775,43	51.232,50	R$ 24.909,7	58%

Tabela 6 – Potencial de economia no consumo de energia dos sistemas de iluminação artificial para o período de inverno.

INVERNO (junho a agosto)					
Ambientes	Consumo atual (kWh)	Consumo sugerido (kWh)	Economia em kWh	Economia em R$	Economia em %
Estúdios	82.450,17	40.416,75	42.033,42	R$ 20.437,07	51%
Circulação	6.557,76	4.827,24	1.730,52	R$ 841,40	26%
TOTAL:	89.007,93	45.243,99	43.763,94	R$ 21.278,47	49%

Tabela 7 – Potencial de economia no consumo de energia dos sistemas de iluminação artificial para o período de primavera.

PRIMAVERA (setembro a novembro)					
Ambientes	Consumo atual (kWh)	Consumo sugerido (kWh)	Economia em kWh	Economia em R$	Economia em %
Estúdios	81.200,93	33.435,68	47.765,25	R$ 23.223,94	59%
Circulação	6.458,40	3.767,40	2.691,00	R$ 1.308,39	42%
TOTAL:	87.659,40	37.203,40	50.456,25	R$ 24.532,33	58%

Esse estudo realizado nos estúdios e na circulação dos estúdios se estendeu a outros ambientes mencionados anteriormente. Somando a economia gerada, o valor chega a aproximadamente R$ 107.000,00 por ano. Analisando todos os ambientes contemplados (nove espaços citados no item 3.3.) com respeito ao perfil de economia de energia em função de um melhor aproveitamento da luz natural, acompanhado de um uso mais racional dos sistemas nos períodos e locais que não se beneficiam dessa luz, é óbvio que as maiores

economias acontecem no período de verão, totalizando 58% de redução de consumo total de energia para a iluminação artificial.

Contudo, vale observar que a redução da demanda energética para o outono e primavera é de um valor bem próximo àquele do verão, ficando ao redor dos 55%, e que, no inverno, essa economia também é significativa, ficando na marca dos 47%. Sendo que as maiores reduções no consumo de energia acontecem justamente nos estúdios, espaços utilizados como escopo para esse artigo.

A partir do exposto acima, foi possível ratificar a importância de uma gestão mais eficiente dos sistemas de iluminação artificial, contemplando o aproveitamento da luz natural, para potenciais mais expressivos de redução de demanda de energia elétrica e recursos financeiros para o edifício da FAUUSP, Vilanova Artigas, na Cidade Universitária. Além disso, também aponta para a necessidade imediata de conscientização de todos seus usuários, sejam eles alunos, professores ou funcionários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-3:** Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR ISO/CIE 8995-1:** Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

ALUCCI, M. **Manual para dimensionamento de aberturas e otimização da iluminação natural na arquitetura**. São Paulo: FAUUSP, 2006.

CARBON TRUST. Schools: Learning to improve energy efficiency. Disponível em: <https://www.carbontrust.com/media/39232/ctv019_schools.pdf>. Acesso em maio de 2019.

CONTIER, Felipe de Araujo. **O Edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo na Cidade Universitária: Projeto e Construção da Escola de Vilanova Artigas.** 2015. 441p. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

GONÇALVES, J. BODE, K. (org.) **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

HARB, F. et al. **Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms.**

Chronobiology International, 32:3, 368-375, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Dimensionamento de Aberturas e Proteções Solares**. São Paulo, 1978. (Relatório IPT n° 13.257).

IPCC -INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy techonology perspectives 2008: Scenarios and strategies to 2050.** Paris: IEA, 2008.

LEVINE, M. et al. **Residential and comercial buildings**. In.: IPCC – INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2007: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

MARCONDES-CAVALERI, Mônica Pereira, CUNHA, Guilherme Reis Muri, GONÇALVES, Joana Carla Soares (2018). **Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo. Daylight performance of office buildings: a dynamic evaluation for the case of São Paulo.** In: PARC, Pesquisa em Arquitetura e Construção, v.9, p. 19-34. Campinas: UNICAMP.

MARDALJEVIC, J., ANDERSEN, M., ROY N., CHRISTOFFERSEN J. **Daylighting Metrics: Is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?** In: Proceeding of the Building Simulation and Optimization Conference BSO12, Loughborough, UK, 2012.

MARTAU, B. **O conceito da luz circadiana e suas implicações na arquitetura.** In.: Anais da 67ª Reunião Anual da SBPC. São Carlos, 2015.

OKSMAN, Silvio. **Preservação do Patrimônio Arquitetônico Moderno. A FAU de Vilanova Artigas.** 2011. 130p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PINHO, Johnny Klembe Costa. **Desempenho Ambiental da FAUUSP em Cenário de Mudança Climática.** 2013. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

RUPP, R. et al. **Modelos de Referência de Edificações Educacionais: Definição de Tipologias de Determinação do Desempenho Energético**. In.: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SEKKI, T.; AIRAKSINEN, M.; SAARI, A. **Measured energy consumption of educational buildings in a Finnish city**. Energy and Buildings, v. 87, p. 105–115, 2015.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Energia e Ambiente da USP – IEE – e à Superintendência de Espaços Físicos da USP – SEF – pelos dados cedidos.