ANÁLISE LUMÍNICA EM UMA SALA DE TRABALHO DO EDIFÍCIO JMM: COMPARAÇÃO DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE ILUMINAÇÃO VISANDO UM CONSUMO ENERGÉTICO EFICIENTE

Thiago Torres (1); Patrízia di Trapano (2) Marcos Silvoso (3)
(1) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura PROARQ/UFRJ, thiago.torres@ufrj.br
(2) D.Sc., Arquiteta, Professora adjunta EBA/UFRJ, Professora Colaboradora PROARQ/UFRJ, patrizia@eba.ufrj.br; patrizia@loggia.arq.br
(3) D.Sc., Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ/UFRJ), silvoso@fau.ufrj.br
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Pedro Calmon, 550 – sala 433 – Ilha do Fundão, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, Brasil

RESUMO
Um exemplar da Arquitetura Moderna Carioca, o Edifício Jorge Machado Moreira, que homenageia o arquiteto criador, foi projetado no início da década de 1950 para abrigar a futura sede da Faculdade Nacional de Arquitetura da Universidade do Brasil (atual Universidade Federal do Rio de Janeiro). Antes da sua idealização, foi construído um modelo protótipo para medições e experimentações de forma que fossem obtidas respostas para a melhor concepção da futura edificação. O momento atual requer maior rapidez no desenvolvimento de respostas e, para isso, são utilizadas ferramentas computacionais para que sejam simuladas as condições atuais, em contraposição às medições in loco. Como, atualmente, o edifício sedia não apenas a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, mas também outras unidades (incluindo a Administração Sede da UFRJ) e, diante de uma situação de contenção de gastos, a Reitoria implementa um programa de substituição de lâmpadas tubulares fluorescentes – 40W – para lâmpadas tubulares LED – 18W – a fim de gerar economia no consumo de energia elétrica. Utilizando a simulação computacional (DIALux Evo v8.2) para avaliação dos cenários com iluminação natural, lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED, o artigo tem por objetivo mostrar que a simples substituição em uma sala de aula padrão ateliê gera economia logo no primeiro mês de implantação, contudo, pode-se constatar que a qualidade lumínica no plano de trabalho pode gerar um valor numérico abaixo dos padrões exigidos pela NBR 8995. Como método de trabalho, foi realizado um estudo simulacional comparativo de uma sala padrão do edifício com ambas tecnologias. Conclui-se que se faz necessário um projeto lumínico adequado às condições de orientação e uso da sala, sem comprometer o caráter histórico da edificação.
Palavras-chave: medição *in loco*. Simulação computacional. Iluminação artificial.

ABSTRACT
An example of Carioca Modern Architecture, the Jorge Machado Moreira Building, which honors the creator architect, was designed in the early 1950s to host the future headquarters of the National Faculty of Architecture of the University of Brazil (now Federal University of Rio de Janeiro). Before its idealization, a prototype model was built for measurements and experiments to obtain answers for the best conception of the future building. The current moment requires greater speed in the development of responses, and, for this, computational tools are used to simulate the current conditions, as opposed to measurements on-site. As the building currently host not only the Faculty of Architecture and Urbanism but also other units (including the UFRJ Headquarters Administration) and faced with a situation of cost containment, the Rectory implements a program to replace fluorescent tube lamps - 40W - for LED tube lamps - 18W - to generate savings in electricity consumption. Using computer simulation (DIALux Evo v8.2) to evaluate scenarios with natural lighting, fluorescent lamps and LED lamps, the article aims to show that the simple replacement in a standard studio classroom generates savings in the first month of implementation, however, the luminous quality in the work plan can generate a numerical value below the standards required by NBR 8995. As a work method, a comparative simulation study of a standard room in the building with both technologies was carried out. It is concluded that a lighting project adequate to the conditions of orientation and use of the room is necessary, without compromising the historical character of the building.
Keywords: on-site measurement. computer simulation. artificial lighting.

1. INTRODUÇÃO

Num período econômico conturbado para o sistema público federal de ensino superior, onde parte dos repasses de verbas para investimento e custeio são contingenciados, toda e qualquer economia que possa ser feita é de suma importância. Dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2018) mostram que o consumo de energia elétrica por edificações públicas refere-se a 8,2%, valor numérico relativamente baixo quando comparado com o setor industrial, que consome cerca de 37,7% da energia elétrica produzida no país. Isto, porém, refere-se a uma alta despesa com relação ao gasto com energia elétrica. Um dos principais fatores para o alto consumo é o uso de iluminação artificial junto com a utilização de sistema de condicionamento de ar. A adoção de novas estratégias que possam associar o aproveitamento da iluminação e ventilação natural aos dispositivos eficazes de iluminamento artificial e sistemas eficazes de ar-condicionado podem ajudar a reverter essa situação que promove um gasto excessivo de energia no país. É importante salientar que, ao aderir a essas novas estratégias, as edificações públicas federais, por força de Instrução Normativa (BRASIL,2014) devem atingir nível de eficiência energética "A" (BRASIL, 2013) nos sistemas de iluminação artificial, bem como o de condicionamento de ar, além de não poder ter rebaixado o nível de eficiência da própria envoltória.

A grande demanda de estudos acerca de fatores que possam mitigar o consumo de energia impulsionou a criação de alguns dispositivos computacionais a fim de desenvolver respostas que relacionemo ambiente interno com os adequados sistemas de iluminação artificial. Há também outros dispositivos que estudam a variável da luz natural a fim de proporcionar um conjunto de respostas mais próximas a realidade dos ambientes. Com o advento de sistemas de simulação computacional, pode-se considerar o efeito dinâmico que iluminação natural produz num determinado espaço (REINHART; MARIDALJEVIC; ROGERS, 2006). Além de verificar se essa condição é suficiente para o desempenho satisfatório dentro do ambiente para a atividade destinada, é possível integrar a iluminação artificial a fim de otimizar o espaço e antecipar os períodos de desconforto visual aos quais os ocupantes serão submetidos e direcionar uma proposta mais condizente com a demanda.

Pregressamente ao grande desenvolvimento da informática, que permitiu a evolução de computadores e softwares para que estes pudessem passar a simular o ambiente construído, eram as pesquisas experimentais a única forma de verificação de hipóteses, do comportamento de determinado material ou ainda da ação do tempo sobre ele.

Ao analisar o campo das experimentações, em pesquisas relacionadas à Arquitetura, pode-se indicar historicamente, que seus estudos e análises foram impulsionados principalmente via modernização das estruturas governamentais, materializada por Getúlio Vargas – presidente à época – que determinava o financiamento de construções e edificações públicas que pudessem disseminar as ideias de uma nova nação. Nesse cenário, a implantação da futura Cidade Universitária da Universidade do Brasil surge como um dos principais demandadores destes estudos. Como a localização desse novo campus havia sido recém definida e como não havia dados técnicos ou estudos que fossem capazes de contribuir para a concepção das edificações no campus universitário, o então novo chefe do ETUB – arquiteto Jorge Machado Moreira – decide firmar uma parceria com Instituto Nacional de Tecnologia (INT), principalmente com o Laboratóriode Ensaio de Materiais, chefiado pelo engenheiro Paulo Accioly de Sá, de modo que fossem indicadas as melhores diretrizes para viabilizar construção do novo campus da Cidade Universitária da Universidade do Brasil.

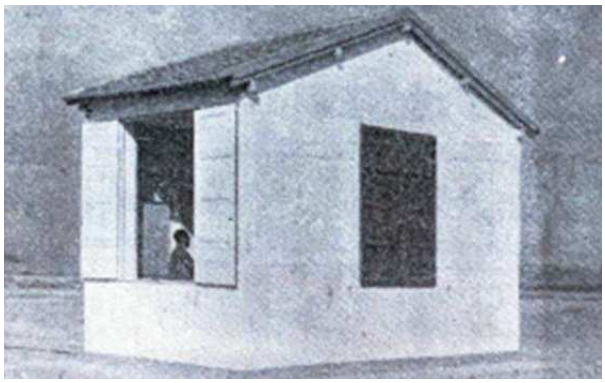


Figura 1 – Fotografia da "casa experimental" no terreno da Faculdade Nacional de Arquitetura (SÁ, 1951).

Dentre os estudos desenvolvidos, pode-se citar uma publicação do INT (SÁ, 1951), sobre iluminação, a qual especificava alguns dados sobre iluminamento, distribuição da luz natural na sala e tipos de janelas. A partir desse conteúdo, o arquiteto Jorge Moreiraconsegue conjugar suas decisões projetuais de modo a adequar de maneira eficiente os novos espaços da nova sede da Faculdade Nacional de Arquitetura, atual edifício JMM. Os dados fornecidos e posteriormente publicados são provenientes da construção de um protótipo, na escala 1:1, denominado a época de "casa experimental" (figura1).

A casa experimental contava com uma planta (figura 2) de um ambiente único retangular de 2,5m por

5,0, tendo as duas fachadas menores voltadas para norte e sul. Em cada fachada foi aberto um vão de 1,5m por 2,0m podendo ser coberto por painéis de madeira de forma total ou parcial, equivalendo uma janela. Além disso, para verificar as condições da experiência, foram pintadas as paredes e teto com diferentes cores a fim de medir a influência da cor sobre o iluminamento do ambiente, por exemplo. Eram aferidos, diariamente, os níveis de conforto lumínico que uma edificação pode ser exposta.

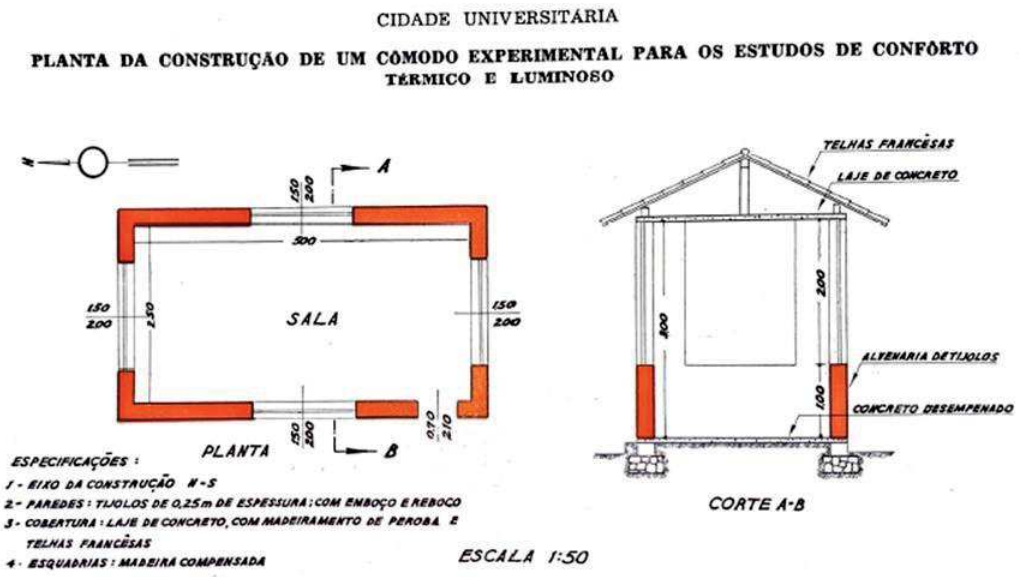


Figura 2 – Planta de construção da "casa experimental" (SÁ, 1951).

A partir dessa construção, Paulo Sá conseguiu prover diversos estudos que balizariam os ideais de Jorge Moreira para a concepção de uma construção eficiente à época, principalmente para a sua faculdade de origem. Ao longo dessa parceria foram desenvolvidas as importantes pesquisas que abrangeriam o conforto do usuário na edificação. Um deles foi caracterizado pela observação da luz natural nos ambientes internos, destacando as seguintes variações: a orientação das esquadrias, o tamanho da superfície, sua posição vertical (janelas altas ou baixas com diferentes aberturas), as horas do dia de provimento de iluminação nos ambientes e, por fim, a cor necessária para o ambiente interno a fim de prover maior claridade para este espaço (SÁ, 1954). A partir desses estudos, o arquiteto consegue conceber uma edificação única e singular.

Esse breve histórico das origens das decisões projetuais tomadas no Edifício JMM, aqui focadas na iluminação, auxilia na compreensão da importância e do valor histórico da edificação a ser abordada neste artigo, que apresentará proposições para adaptações que respeitem tanto o caráter histórico da edificação, como a necessidade de se alcançar um desempenho eficiente para iluminação, condizente com o seu uso.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho visa verificar o desempenho energético a partir da mudança de tecnologia de iluminação realizada pela administração central da Universidade Federal do Rio de Janeiro para o edifício Jorge Machado Moreira.

3. MÉTODO

A metodologia traçada para a elaboração dessa pesquisa partiu do reconhecimento de dois eixos principais que estruturam todo o trabalho: a investigação histórica acerca da edificação e a avaliação simulacional, a partir de um estudo quantitativo comparativo e simulacional de uma sala de aula padrão de ateliê do edifício JMM. Foi utilizado um estudo precedente no mesmo ambiente como balizador para que se pudesse comparar os resultados alcançados com aqueles já publicados, fazendo com que as análises realizadas ficassem restritas, assim, a um determinado espaço temporal (mês de Novembro).

4. A QUESTÃO DA ILUMINAÇÃO DO EDIFÍCIO JORGE MACHADO MOREIRA

Construído no final da década de 1950 e ocupado em 1961, o arquiteto concebe um novo exemplar da Arquitetura Carioca Moderna que, além de ser premiado na IV Bienal de São Paulo, seguia o racionalismo

construtivo, destacando sua forma de projetar através da modulação e padronização dos elementos. O modulo dimensional adotado foi de 1,225m – equivalente à dimensão das lâmpadas fluorescentes. A partir desse módulo, seus múltiplos e submúltiplos podem ser encontrados desde o intercolúnio dos pavimentos e pilotis até as cerâmicas e azulejos. Todos os elementos construtivos do edifício da FNA se encaixam perfeitamente nessa série numérica (JARDIM, 2011). Como dito, as lâmpadas fluorescentes serviram como base para a geração do módulo que comporia toda a edificação. Elas não apenas representavam o símbolo do módulo dimensional presente em todo o edifício, mas também um símbolo de progresso e modernidade.

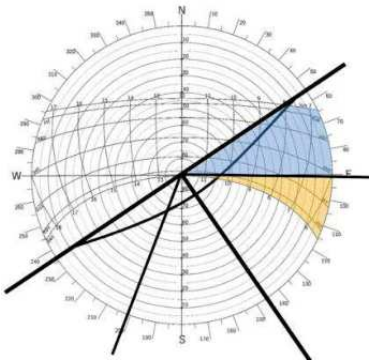


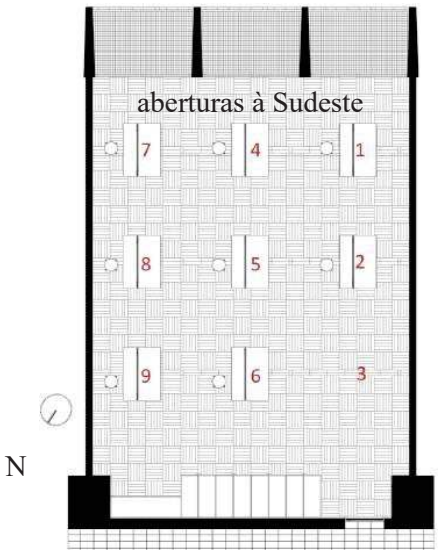
Figura 3 – Carta Solar para o Rio de Janeiro com as indicações de alfa e beta para a fachada Sudeste do Edifício JMM

O trato do conforto lumínico natural fora estudado anteriormente com as notas de Paulo Sá (1954); para a iluminação artificial não houve nenhum estudo relatado, existindo sobre esse tópico, apenas as recomendações do engenheiro acerca do nível de iluminância dentro do ambiente das salas de trabalho por 500 lux. Nos dias atuais, um recurso muito utilizado é o estudo de iluminação natural por meio de Carta Solares e Máscaras de Sombras. Com base na Carta Solar designada para o Rio de Janeiro (figura 3), a edificação apresenta proteções às radiações solares diretas nos primeiros horarios da manhã durante o período letivo acadêmico. Os horarios de não proteção acontecem em sua maior parte naqueles momentos em que, em teoria, ocorre o recesso acadêmico.

Nos registros históricos de Jorge Moreira, a relação da iluminação artificial é apontada pela importância das lâmpadas fluorescentes, que serviriam como base para a geração do módulo que comporia toda a edificação, como já mencionado. Essas lâmpadas não apenas representavam o símbolo do módulo dimensional presente em todo o edifício, mas também um símbolo de progresso e modernidade.

Desde a ocupação do edifício até o ano de 2019 foram utilizadas lâmpadas fluorescentes tubulares em todos os pavimentos. O projeto original previa que, para cada sala de trabalho (atuais salas de ateliê) fossem instaladas 54 lâmpadas de 40W, refletindo um consumo de 2160W por sala ou 30W por metro quadrado. Originalmente a instalação dessas luminárias acontecia entre a laje do pavimento e a colmeia de madeira. Essa colmeia realizava a função de forro do ambiente. Desde a ocupação da edificação até os anos 2000, foram utilizadas lâmpadas acima do forro de colmeias. Posteriormente a essa data – e até os dias atuais, foram realizadas trocas na disposição das lâmpadas, sendo então alocadas em luminárias, com duas lâmpadas cada, alternadas entre si pelos espaçamentos do forro, passando a ser colocadas abaixo deste.

O estudo de Morgado (1995) tratava, entre outros temas, do conforto lumínico para os usuários do edifício JMM. O autor realizou medições *in loco* utilizando luxímetro digital – ICEL modelo LD-500 – na sala 427, no mês de novembro no período compreendido da manhã. A partir de uma malha distribuída em 9 pontos (figura 4), foram destacadas a luminosidade num dia de céu claro para o ambiente em dois momentos: o primeiro, com todas as luzes apagadas, ou seja, utilizando-se apenas da luz natural no ambiente; no segundo eram incorporadas as lâmpadas acesas. Cabe relembrar que, no ano de leitura realizado pelo autor, as lâmpadas ainda estavam localizadas acima das colmeias – o que não representa a situação atual – e que algumas delas estavam defeituosas ou não presentes no espaço da luminária.



SALA 427 – Novembro – 9h – Céu Claro

Lâmpadas Apagadas

1- 1350 lux	2- 485 lux	3- 200 lux
4- 1440 lux	5- 444 lux	6- 190 lux
7- 1700 lux	8- 370 lux	9- 190 lux

Lâmpadas Acesas

1- 1470 lux	2- 640 lux	3- 305 lux
4- 1580 lux	5- 680 lux	6- 395 lux
7- 1770 lux	8- 565 lux	9- 300 lux

Figura 4 – Medições in loco realizadas na sala 427 do Edifício JMM (Adaptado de MORGADO, 1995).

Tanto os estudos de Morgado (1995) quanto de Sá (1954) comprovam que apenas a presença da iluminação natural no ambiente não satisfaz a quantidade mínimas de lux em alguns espaços da sala – principalmente àqueles mais ao fundo. Já na presença de iluminação artificial, Morgado (1995) apresenta que a conjugação de lâmpadas acesas com a iluminação natural pode causar um excesso de iluminação na mesa de trabalho dos alunos, uma vez que a distribuição elétrica do ambiente é dividida em três linhas paralelas por módulo de intercolúnio. Nesse caso não haveria a possibilidade de acender as lâmpadas mais ao fundo sem que acendessem também as lâmpadas mais próximas das esquadrias.

O momento atual impõe certas barreiras de experimentações e medições in loco de novas tecnologias, visto que há um contingenciamento de verbas e poucas pesquisas que possam apresentar soluções mais eficazes de novas tecnologias. Em contraposição aos estudos realizados em décadas passadas, a atualidade impõe aos arquitetos a necessidade de rapidez em desenvolver projetos que possuam desempenho eficiente em questões de energia e conforto, principalmente. É nesse sentido que são utilizados modelos virtuais em simulações computacionais, com o propósito sistematizar informações que determinem o bom desempenho da construção.

A fim de se obter expressamente um menor consumo de energia, a construção civil incorpora o termo popularmente conhecido como retrofit lumínico para a mudança de tecnologia. Apesar dessa mudança gerar um menor consumo de energia, ela não necessariamente cria um ambiente com desempenho energético mais eficiente. Esse é o exemplo do que ocorre atualmente pela administração central da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A instituição começou um processo de substituição das lâmpadas fluorescentes para as lâmpadas LED tanto das áreas comuns do edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – edifício JMM, como também dentro das salas. As atuais lâmpadas de 40W fluorescentes por tuboLED de 18W não contempla nenhum projeto lumínico em que se considere a influência da luz natural no ambiente possibilitando um consumo mais eficaz. De forma preliminar, a economia percebida em outras instancias da Universidade foi divulgada por meio de breves resultados como a redução de 59% da potência instalada e com os gastos a ela atribuídos (FUNDO VERDE, 2018).

A substituição de lâmpadas por aquelas mais eficientes, aliada a um projeto lumínico, pode suprir as necessidades dos usuários - conforme as determinações da NBR 8995 (2013) - gerando uma economia de energia - barateando ainda mais o custo final. É nesse sentido que este estudo teve como objetivo a comparação das tecnologias praticadas atualmente no edifício JMM com as antigas lâmpadas fluorescentes de 40W do projeto original. O retrofit realizado, que se utiliza do mesmo número de pontos existentes desde os anos 2000, como ocorreu na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, sem um projeto luminotécnico específico, pode comprometer a qualidade efetiva gerada no ambiente.

5. RESULTADOS

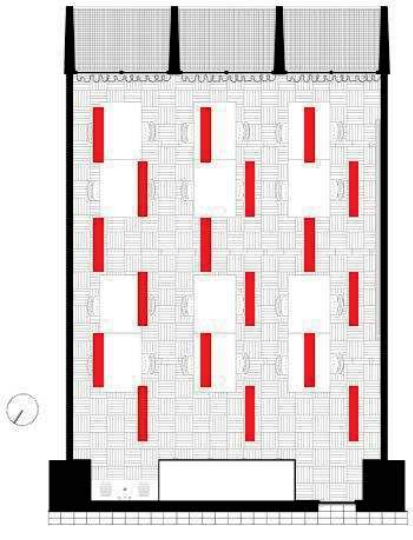


Figura 5 – Planta de teto indicando a localização das luminárias.

Para melhor entendimento, a investigação se deu no contexto atual de utilização das salas de trabalho (ateliês) com aulas de projeto e desenho técnico. Nessa sala há o uso de 18 luminárias, dispostas de forma intercalada (figura 5), cada qual com duas lâmpadas fluorescentes – possuindo 40W de potência – e um reator que consome 2W de potência. Desde a concepção inicial, o acionamento para acendimento das luminárias ocorre em três circuitos perpendiculares às aberturas: um em cada vão de intercolúnio.

Outros pontos abordados relacionam-se à definição de horários de uso e os valores considerados para a tarifa energética. Para o horário de uso foi definido 10 horas diárias, iniciando a partir de 8h e finalizando às 18h, durante 22 dias por mês e 10 meses por ano. Para a tarifação, utilizou-se de referência o mês de agosto de 2019[1], cujo valor do período de Ponta (17h – 21h) custava próximo de R$ 1,45 e o valor do período de Fora Ponta custava, em média, R$ 0,44.

Para o cálculo inicial foram destacadas algumas informações acerca da lâmpada utilizada atualmente. A lâmpada de modelo T10 Plus da marca "Philips" apresenta uma potência de 40W, uma vida útil de 5000h e um fluxo luminoso de 2700 lúmens. A potência total instalada no ambiente é de 1476W. No mercado, o valor médio dessa lâmpada custa R$ 18,10.

[1] Os valores de referência das diferentes bandeiras durante o período analisado (2019) foram unificados a fim de facilitar a execução da comparação, ou seja, foi colocado um valor médio.

A substituição das lâmpadas feita pela Administração Central da UFRJ para modelo LED aconteceu de forma simples. Sem nenhuma alteração no sistema elétrico, foram retiradas as lâmpadas fluorescentes e seus respectivos reatores para a colocação das lâmpadas LED nas mesmas luminárias. Foi utilizada o modelo TuboLed T8 da marca "Sylvania by OL Iluminação" que apresenta uma potência de 18W, uma vida útil de 25000h e um fluxo luminoso de 1900 lúmens. A potência total instalada no ambiente é de 648W. No mercado, o valor médio dessa lâmpada custava, em 2019, R$ 20,48.

Após esse período de investigação, os dados respectivos de cada sistema foram comparados entre si a fim de gerar quadro que expusesse as diferenças entre as tecnologias (tabela 1).

Tabela 1 - Quadro comparativo entre o sistema Fluorescente e de LED (valores referentes a 2019).

	Lâmpada Fluorescente	**Lâmpada LED**
Número de Lâmpadas	36	36
Investimento em Lâmpadas	R$ 651,60	R$ 737,28
Fluxo Luminoso (cada)	2700 lm	1900 lm
kWh – mês	325	143
Custo Energético	R$ 182,99	R$ 80,34
Troca devido à vida útil	2 anos	11 anos

Realizando um cálculo de payback simples cujo dados foram confrontados a fim de compará-los conforme a sua vida útil e seus consumos, foi gerado um quadro síntese, a partir de um cenário 0, em que háo custo inicial com a instalação de todas as 36 lâmpadas, tanto fluorescentes quanto as de LED. Após um mês verifica-se que, apesar do custo de implantação de lâmpadas LED ser razoavelmente maior quando comparado às fluorescentes, o custo é pago com um consumo menor de energia. No primeiro momento de trocas de lâmpadas LED – que acontece após 11 anos (letivos) - já ocorreram 5 trocas de lâmpadas fluorescentes. Após 11 anos utilizando o sistema LED, o total economizado com o consumo de energia e com as diversas trocas de lâmpadas devido a vida útil gerou um rendimento próximo a quinze mil reais (tabela 2).

Tabela 2 - Comparativo de custo de implementação e payback do sistema Fluorescente e LED (valores relativos a 2019).

Cenário	Custo Inicial	1 mês	2 meses	11 anos
Sala LED	R$ 737,28	R$ 817,62	R$ 897,96	R$ 9.574,68
Sala Fluorescente	R$ 651,60	R$ 834,59	R$ 1.017,59	R$ 24.038,50
Diferença	- R$ 85,68	R$ 16,97	R$ 119,62	R$ 14.463,82

Mesmo após o quadro quantitativo comparativo, em que se justifica a simples mudança de tecnologia das lâmpadas visando apenas o custo energético, foi realizado um estudo quantitativo simulacional do ambiente. Por se tratar de um ambiente acadêmico, o conforto lumínico é de suma importância no desenvolvimento da aprendizagem dos discentes. Amparados pela NBR 8995 (2013) que especifica salas de desenho técnico com 750 lux no plano de trabalho, utilizou-se um software de simulação computacional 'Dialux evo 8.2' a fim de obter uma resposta mais embasada à simples mudança das lâmpadas.

A simulação pode confirmar se a instalação de uma lâmpada LED que, apesar de ser mais econômica e eficiente, possui um fluxo luminoso inferior ao das lâmpadas anteriores, consegue satisfazer o conforto visual para os usuários. Para isso utiliza-se um cenário noturno, com a influência apenas das lâmpadas dentro do ambiente. As imagens (figura 6a e 6b) ilustram as duas situações simuladas no mesmo instante.

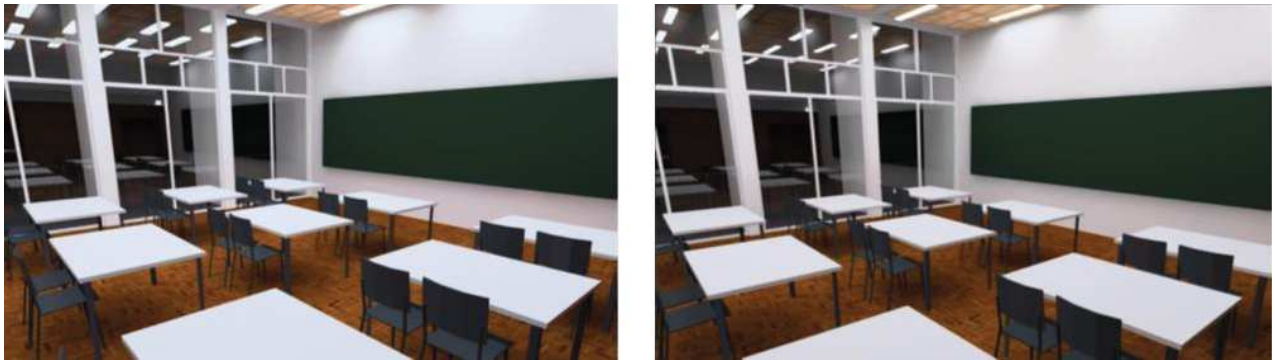


Figura 6a e 6b – Comparação visual gerada via simulação entre o sistema Fluorescente (imagem à esquerda) e o sistema LED(imagem à direita) na sala de aula.

Comparando as duas imagens acima, consegue-se perceber que há uma leve diferença entre os ambientes. A fim de obter um melhor entendimento acerca da quantidade lumínica dentro do espaço, foi exportado o mesmo ambiente com inúmeros pontos demarcados representando a taxa de iluminação para cada ponto (figura 7a e 7b).

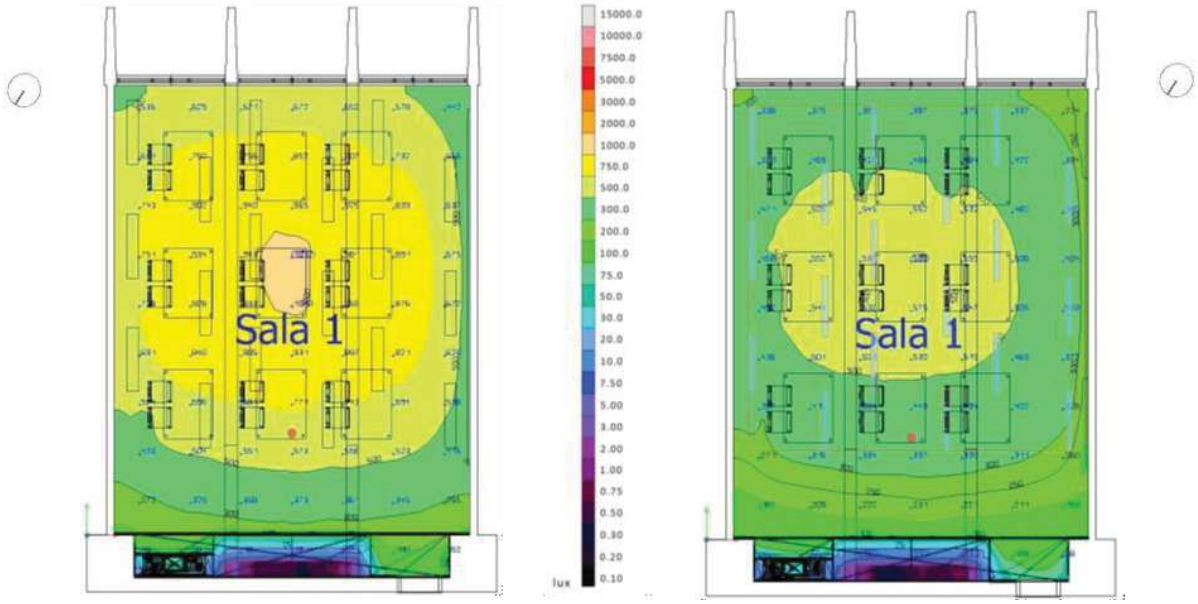


Figura 7a e 7b – Comparação gráfica de lux no ambiente gerada via simulação entre o sistema Fluorescente (imagem à esquerda)e o sistema LED (imagem à direita) na sala de aula.

A partir da análise dos resultados obtidos por essa simulação pode-se perceber que a substituição das lâmpadas ocasionou um decréscimo na quantidade média de lux no plano de trabalho. Em média, o ambiente iluminado com as lâmpadas fluorescentes obtém 637 lux enquanto o ambiente em LED ilumina próximo de 377 lux.

Entendendo que se deve privilegiar o uso racional da iluminação artificial aliado ao da iluminação natural, foi elaborado um estudo que mesclou essas duas categorias. Por se tratar de uma unidade de educação que tem seu funcionamento no período diurno, há que se considerar o uso da iluminação natural e, para isso, foi estudada a sua influência para o ambiente. O estudo usou como base um horário que se assemelhasse ao estudo in loco de Morgado (1995) para comparar com as informações fornecidas pela simulação. Tanto a partir da medição feita por Morgado (1995) quanto o estudo computacional foram percebidos que os pontos próximos ao pano de vidro das janelas recebem uma grande incidência de luz natural (figura 8a e 8b).

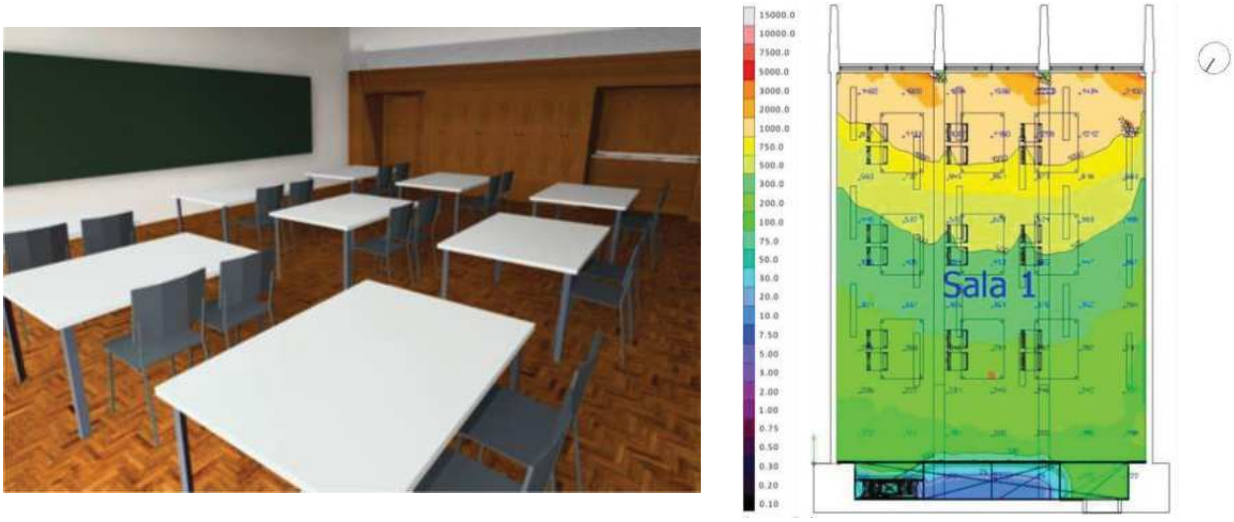


Figura 8a e 8b – Gráfico quantitativo de lux no ambiente (imagem à direita) e perspectiva gerada via simulação (imagem à esquerda) da incidência de luz natural na sala de aula.

A simulação realizada, utilizando-se apenas o efeito da iluminação natural – em um dia de céu claro para o mês de novembro – mostrou que os pontos próximos ao pano de vidro das janelas recebem uma grande incidência de luz natural. Posteriormente foi estudada a inserção da iluminação artificial – tanto para lâmpadas fluorescentes quanto para as lâmpadas LED - integrada com a iluminação natural. Foram estabelecidos três horários – 09h (figura 9a e 9b), 12h (figura 10a e 10b) e 15h (figura 11a e 11b) – para mensurar o grau médio de lux que o plano de trabalho recebe.

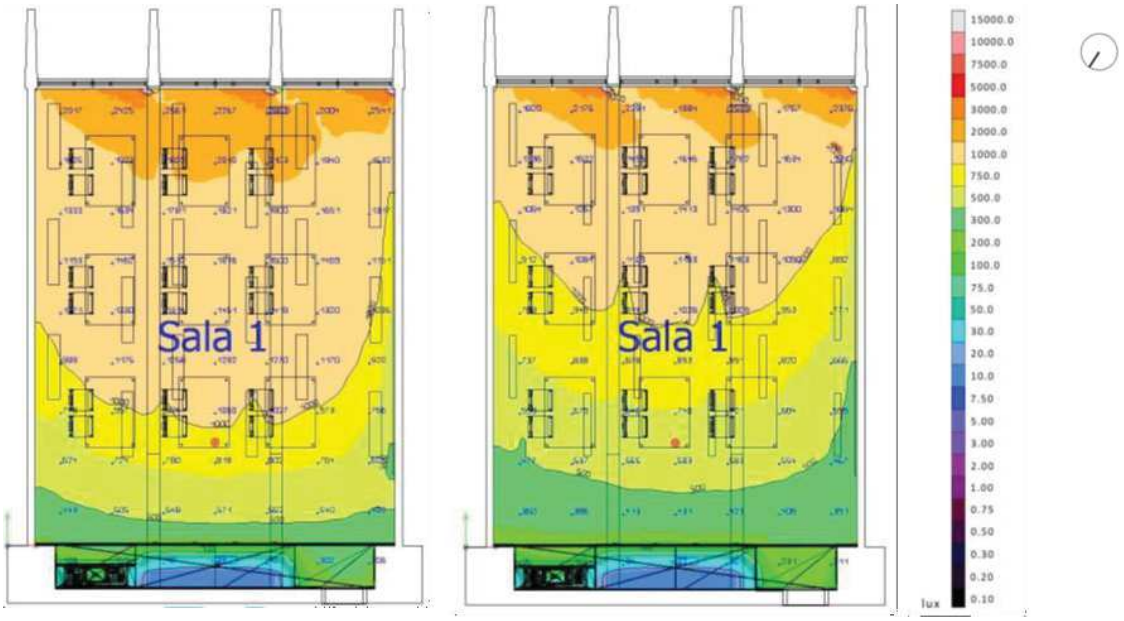


Figura 9a e 9b – Comparação gráfica de lux no ambiente gerada via simulação entre o sistema Fluorescente (imagem à esquerda) –média de 1238 lux e o sistema LED (imagem à direita) – média de 984 lux no horário de 09:00.

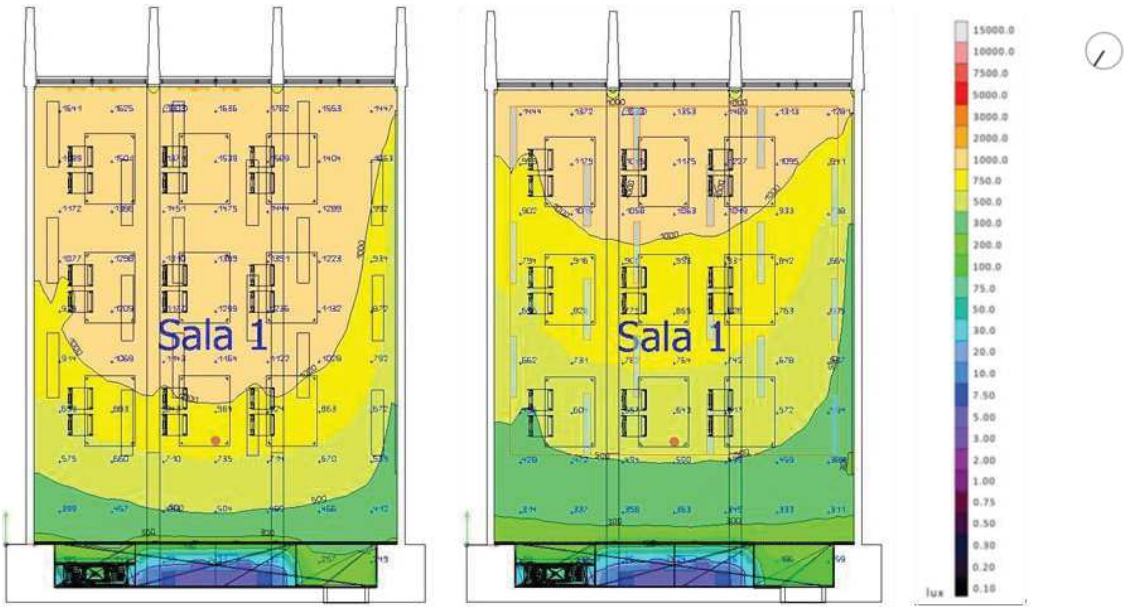


Figura 10a e 10b – Comparação gráfica de lux no ambiente gerada via simulação entre o sistema Fluorescente (imagem à esquerda) – média de 989 lux e o sistema LED (imagem à direita) – média de 730 lux no horário de 12:00.

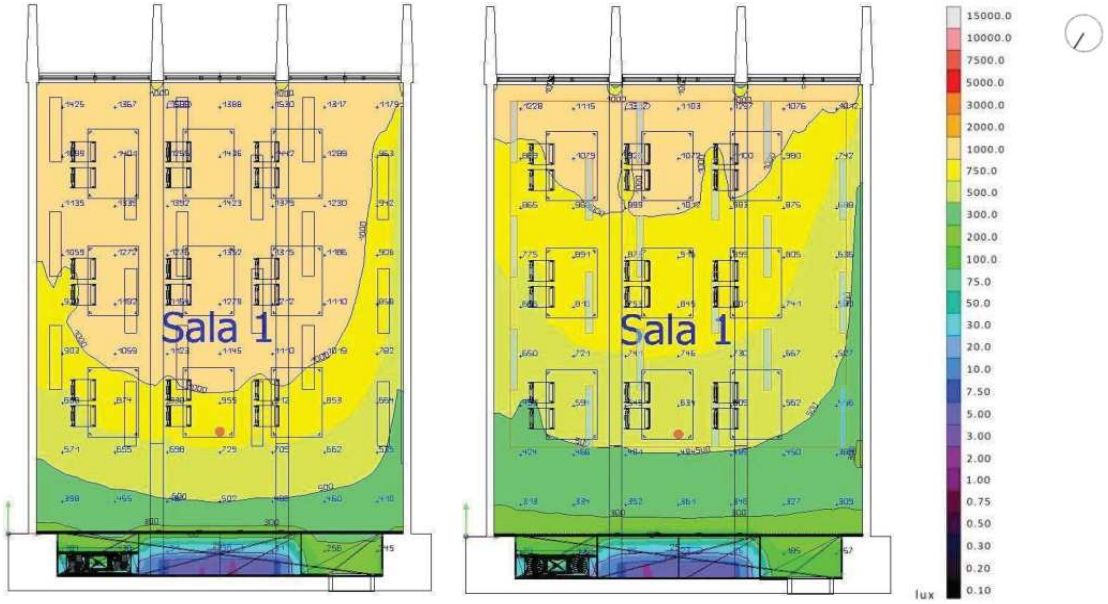


Figura 11a e 11b – Comparação gráfica de lux no ambiente gerada via simulação entre o sistema Fluorescente (imagem à esquerda) – média de 940 lux e o sistema LED (imagem à direita) – média de 681 lux no horário de 15:00.

Após sistematizar todos os cenários simulados, pode-se perceber que o valor recomendado de 750 lux, pela NBR 8995 (2013) para ambientes educacionais com aulas de desenho técnico, foi alcançado no período da manhã pelas duas tecnologias e nas demais situações apenas pelas lâmpadas fluorescentes(Gráfico 1).

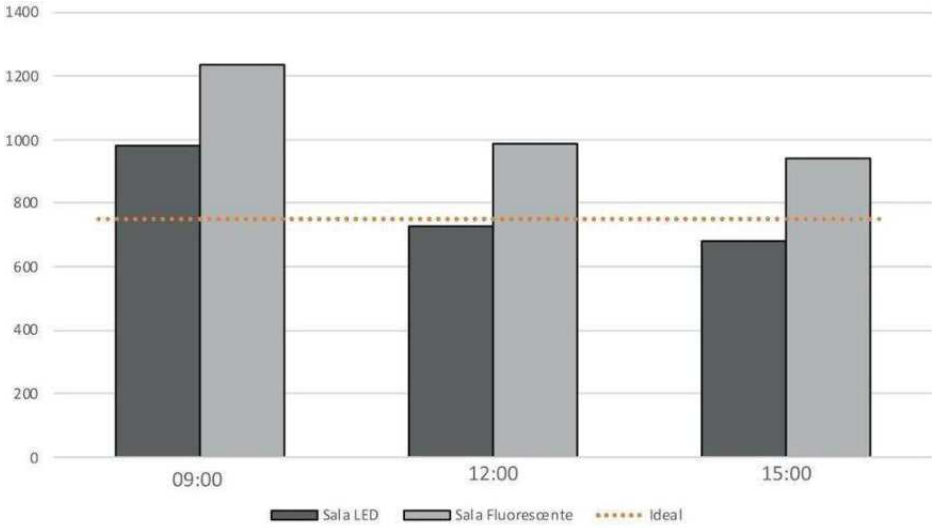


Gráfico 1 – Comparativo de lux médio entre o sistema Fluorescente e o sistema LED pelos três horários simulados.

6. CONCLUSÕES

O entendimento acerca da substituição de lâmpadas para a tecnologia LED ajuda a refletir que, apesar de reduzir o consumo energético e, por consequência, o custo com energia elétrica, essa simples substituição realizada pela administração central da UFRJ no Edifício JMM não atende ao mínimo exigido pela NBR 8995 (ABNT, 2013). Enquanto as lâmpadas fluorescentes provêm uma média de 637 lux, as lâmpadas LED satisfazem em média 377 lux. Ou seja, em ambos os casos o fluxo luminoso advindo pelas lâmpadas não satisfaria os 750 lux necessários para o desempenho da atividade de trabalho fim do espaço – desenho técnico. Contudo, graças à integração com a luz natural, advinda do grande pano de vidro presente nos ambientes, o ateliê de aula – utilizando LED - consegue se aproximar da normativa existente.

Assim sendo, para que haja um ganho completo referente às possibilidades tecnológicas existentes, verifica-se a necessidade de criação de um novo projeto lumínico que especifique adequadamente as melhores lâmpadas para cada faixa setorial da sala – ambiente próximo a janela; ambiente fundo - próximo aos armários - e o espaço entre esses dois ambientes.

Uma constatação ocorrida refere-se à forma de ocupação das salas de ateliê atualmente. Entendendo que há um maior uso de computadores pessoais pelos alunos, mesmo nas aulas de projeto, haveria uma possibilidade de maiores proveitos energéticos com o reordenamento de ocupação das salas. As turmas referentes ao primeiro ano do curso de Arquitetura e Urbanismo, que necessitam de espaços adequados para o desenho técnico, teriam seus ateliês fixos com solução lumínica respondendo ao mínimo exigido por norma. Os outros anos do curso poderiam ser alocados em espaços de ateliê que responderiam ao exigido em norma, ou com uma solução lumínica que adequasse menores taxas de iluminamento ao uso de computadores pessoais – entre 300 e 500 lux.

Por fim, cabe ressaltar que a necessidade de criação de um projeto lumínico que especifique adequadamente as melhores lâmpadas para cada faixa setorial da sala não deve se sobrepor ao histórico do edifício tombado. O estudo de um sistema mais atual, que englobe placas de LED incorporadas a luminárias lineares seria o mais adequado para o retrofit. O mercado, atualmente, oferece placas das mais variadas potencias que poderão proporcionar maior fluxo luminoso. Apesar de haver soluções tecnológicas mais eficientes que a Lâmpada Tubular de LED, deve se lembrar que o módulo projetual do edifício surge a partir da medida da Lâmpada Tubular Fluorescente 1,225m e, por isso, lâmpadas não tubulares poderiam ser questionadas, desvirtuando o caráter histórico da edificação. O sentido da era atual de economia e eficiência energética não pode sobrepor a historicidade da arquitetura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995**: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1:Interior. Rio de Janeiro, 2013

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério do Orçamento, Planejamento e Gestão. Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação. **Instrução Normativa Nº 2**. Brasília, 2014.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017. Rio de Janeiro, 2018.

FUNDO VERDE. **Instalação de lâmpadas LED nas áreas comuns do CT, UFRJ.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: http://fundoverde.ufrj.br/index.php/pt/projetos/projetos-fundo-verde/energia/instalacao-de-lampadas-led-nas-areas-comuns-do-ct

JARDIM, Paulo. **Edifício Jorge Machado Moreira** – Plano Diretor de Recuperação Melhorias e Manutenção. Rio de Janeiro: ETU/UFRJ. 2011.

MORGADO, C. O. **Avaliação Pós-Ocupação do Conforto Ambiental na FAU-UFRJ**: o parecer do corpo discente. (Dissertação de Mestrado) PROARQ-FAU-UFRJ. Rio de Janeiro, 1995

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. **Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design**. Leukos, 2006.

SÁ, P. **Iluminamento natural**: ensaios para sua previsão nos edifícios da Cidade Universitária. Rio de Janeiro: INT, 1954.

SÁ, P. **Estudos de Iluminamento Natural para a Cidade Universitária da Universidade do Brasil**. Instituto Nacional de Tecnologia. Rio de Janeiro, 1951.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.