DESAFIOS NA APLICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NAS COMPRAS PÚBLICAS: *RETROFIT* DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR

Larissa Arêdes Monteiro (1); Helder Gattoni Medeiros (2); Roberta Vieira Gonçalves de Souza (3)
(1) Arquiteta e Urbanista, Mestra pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, lam2019@ufmg.br, UFMG
(2) Engenheiro Mecânico, Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, heldergattoni@ufmg.br, UFMG
(3) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFMG, robertavgs@ufmg.br, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído da Escola de Arquitetura da UFMG, Belo Horizonte-MG, 30130-141, Tel.: (31) 3409-8825

RESUMO
A sustentabilidade é uma demanda crescente no consumo de produtos e no funcionamento de edifícios e deve ser priorizada no *retrofit* dos sistemas de iluminação. Porém, quando se trata de sistemas de iluminação eficientes, a comparação entre diferentes luminárias LED é complexa e muitos são os desafios encontrados nas compras públicas, que exigem a concorrência entre essas. O objetivo da pesquisa foi compreender como substituir diferentes tecnologias de iluminação de forma sustentável, através de licitação pública, tendo como objeto de estudo salas de aula do edifício CAD 3 da UFMG. A metodologia envolveu o estudo da legislação existente para licitação em obras públicas e a aplicação no estudo de caso. Para tal, foi feita seleção de fornecedores de luminárias LED, dimensionamento de peças através do método dos lúmens e de simulação computacional para atendimento à NBR ISO/CIE 8995:2013, análise da eficiência energética do projeto conforme a INI-C e verificação do custo global. Entendeu-se que as luminárias LED possuem diversas características diferentes entre si para diferentes fornecedores, o que exige a concepção de um projeto para cada fornecedor. O estudo concluiu que a substituição de fontes de luz necessita de uma análise holística e que a licitação deve ser feita com base no projeto luminotécnico mais eficiente, e não só pela análise da luminária.

Palavras-chave: licitação pública, *retrofit* de iluminação, sustentabilidade.

ABSTRACT
Sustainability is a growing demand in the consumption of products and in the operation of buildings and must be prioritized in the *retrofit* of lighting systems. However, when it comes to efficient lighting systems, the comparison between different LED luminaires is complex and there are many challenges found in public procurement, which require a public competition between suppliers. The objective of the present investigation was to understand how to replace different lighting technologies in a sustainable way, through public bidding, having the classrooms of the CAD 3 building of UFMG as object of study. The methodology involved the study of the existing legislation for bidding in public construction and the application in the case study. For this, it was made selection of suppliers of LED luminaires, sizing of parts through the lumen method and computer simulation to meet the NBR ISO/CIE 8995:2013, analysis of the energy efficiency of the project according to the INI-C and verification of the overall cost. It was understood that LED luminaires have several different characteristics from each other to different suppliers, which requires the design of a project for each supplier. The study concluded that the replacement of light sources requires a holistic analysis and that the bidding should be made based on the most efficient lighting design, and not only by the analysis of the luminaire.

Keywords: public building, lighting retrofit, sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Temas relativos à preservação do meio ambiente estão cada vez mais em pauta, o que mostra preocupação crescente com a sustentabilidade em todas as formas de produção e consumo. O Relatório Brundtland, denominado "Nosso Futuro Comum", de 1987, discutiu o conceito de desenvolvimento sustentável como o dever de satisfazer a necessidade do presente sem comprometer as gerações futuras de terem suas necessidades supridas (FURTADO, 2012).

Não há alternativa para manutenção da qualidade de vida nas edificações sem aumentar o consumo, se não for pelo aumento da eficiência energética. Segundo Lamberts, Pereira e Dutra (2014), eficiência energética para uma edificação é a capacidade de proporcionar conforto (térmico, acústico, luminoso) consumindo o mínimo de energia possível. Para melhorar a eficiência, além de projetos melhores, deve-se tratar os desperdícios. Desperdício este que causa aumento nas contas de energia, sobrecarga na infraestrutura e compromete a eficiência nos edifícios.

O Estado brasileiro é grande consumidor e detentor de poder de compra e, por estes motivos, deve ser o indutor e disseminador da cultura de proteção do meio ambiente. O volume de aquisições do Governo Federal representou cerca de 12,5% do Produto Interno Bruto no período de 2006 a 2016 (RIBEIRO E JÚNIOR, 2019). Desta forma o poder de compra do Estado Brasileiro pode quebrar paradigmas, inserindo diretrizes sustentáveis, incentivando os fornecedores de todo país a fornecerem produtos e serviços cada vez mais sustentáveis. Nesse sentido, as licitações públicas não são mais encaradas apenas como forma de aquisição de bens e serviços, mas também como função regulatória e conformadora do mercado.

Garcia e Ribeiro (2012) apontam que a proposta mais vantajosa nem sempre é a de menor preço. Já Juarez (2012) aponta que as licitações públicas deverão obrigatoriamente ser praticadas com maior responsabilidade, não somente devido às normas e diretrizes vigentes, mas para garantir direitos fundamentais às gerações futuras. Tem-se então que as licitações precisam incorporar os critérios de sustentabilidade para avaliar o "custo-benefício" social, ambiental e econômico.

Em 2022 a Universidade Federal de Minas Gerais recebeu verbas do governo do Estado para fins de eficientização de suas edificações. Este processo faz parte do escopo do projeto de pesquisa e desenvolvimento institucional "Minirrede de Energia Elétrica Oásis-UFMG", mais conhecido como Projeto Oásis, organizado pela Comissão Permanente de Gestão Energética, Hídrica e Ambiental da UFMG (CPGEHA). O projeto inclui entre suas ações a gestão do consumo de energia elétrica, com a avaliação e implementação de melhorias nos prédios do *campus* da Pampulha (iluminação, ventilação e outros) e campanhas educativas quanto ao uso da energia elétrica (SANCHES, 2020).

O projeto foi iniciado com a implementação de Usinas Fotovoltaicas nos edifícios dos Centros de Atividades Acadêmicas, CADs, e visa obter para estas edificações a etiqueta PBE Edifica nível A através da aplicação da INI-C - Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (BRASIL, 2021). Para isso, intervenção nos sistemas atuais de iluminação é parte da demanda para o aumento do nível de eficiência energética nas edificações.

De acordo com levantamento feito pelo Projeto Oásis (2021), o consumo de energia elétrica anual médio do CAD 3, ano base de 2019, foi de 210.000kWh.

Dentro do projeto Oasis, a equipe de gestão do uso de energia realizou a avaliação de eficiência energética da edificação por meio da aplicação dos requisitos da INI-C. Dentre os sistemas de avaliação da INI-C estão a avaliação da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento artificial do ar. Contribuindo para a eficiência energética e o conforto ambiental no edifício, a integração da iluminação natural com qualidade faz-se fundamental nesta avaliação. Tendo proposto um *retrofit* para o sistema de iluminação existente, Monteiro *et al*. (2022) estimaram uma economia mínima de 38% no gasto energético a partir da substituição das luminárias de lâmpadas fluorescentes por luminárias LED e pela integração da iluminação natural com a iluminação artificial, seguindo os critérios colocados pela INI-C. E, com a instalação das Usinas Fotovoltaicas, espera-se que o prédio alcance a autogestão em termos de energia elétrica.

O custo estimado por Monteiro *et al*. (2022) para a substituição do sistema foi de R$ 228.050,01 com um tempo de retorno de investimento de 2,3 anos. No entanto, quando as luminárias especificadas para o *retrofit* foram licitadas, não se encontrou no mercado luminárias de mesma potência, ou de mesmo fluxo luminoso para compor três preços, tendo a equipe buscado luminárias semelhantes às definidas para o projeto de *retrofit* que pudessem manter o número de luminárias previamente especificados. O principal obstáculo encontrado neste processo foi a constatação de que as luminárias LED de fluxos luminosos semelhantes apresentavam potências que foram consideradas significativamente distintas. Tal se deveu ao fato de que as luminárias originalmente especificadas possuíam uma eficiência energética superior às demais encontradas no mercado. Diante da diferença encontrada, a equipe interna da Universidade responsável por aprovar os orçamentos para licitação considerou que as luminárias licitadas não eram semelhantes o suficiente, barrando

o processo. Com isso, foi perdida a possibilidade de a Universidade ter seu sistema de iluminação modernizado pela compra de luminárias LED a partir da verba disponibilizada.

Uma opção analisada pela equipe foi a de fazer a simples substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas do tipo tubular de LED. Neste caso, esbarrou-se no problema de que as tubulares de LED disponíveis no mercado apresentavam fluxo luminoso significativamente inferior (da ordem de 1.800 lm) ao das lâmpadas fluorescentes T8 existentes (aproximadamente 2.700 lm) para lâmpadas de mesmo tamanho (1,20m). Verificou-se que apenas um fabricante possuía uma lâmpada tubo LED com fluxo semelhante (2.400lm). Tal constatação inviabilizava a substituição direta de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas do tipo tubular de LED, uma vez que não seriam mantidas as iluminâncias necessárias.

Portanto, diante da dificuldade de se fazer o *retrofit* de sistemas de iluminação com tecnologias diferentes e dentro da tecnologia LED, onde as fontes de luz possuem diferentes construções, potências, fluxos luminosos, vida útil e manutenibilidade, a pesquisa busca compreender como comparar e licitar luminárias LED para a substituição de lâmpadas fluorescentes. Esta pesquisa visa possibilitar que, em licitações futuras, possam ser especificados sistemas que atendam à legislação de licitações, garantindo assim que sistemas mais eficientes possam ser adquiridos.

2. OBJETIVO

Compreender como substituir tecnologias anteriores por sistemas de iluminação LED em compras públicas, tomando como estudo de caso salas de aula de uma edificação de ensino superior.

3. MÉTODO

A metodologia do estudo foi dividida em duas etapas principais. A primeira foi o estudo da legislação existente para licitação em obras públicas. A segunda etapa foi a aplicação desse conhecimento em um estudo de caso, que se subdividiu em outras seis etapas, sendo essas: (1) Escolha do objeto de estudo; (2) Seleção de fornecedores, com luminárias de luz difusa de 1,20 m e 0,60 m, e luminária com facho assimétrico de 1,20 m para iluminação do quadro, e solicitação de orçamento; (3) Cálculo do número de luminárias necessárias para se alcançar 500 lux no plano de trabalho, exigido pela NBR ISO/CIE 8995:2013; (4) Cálculo do número de luminárias necessárias para se alcançar 500 lux no quadro, exigido pela NBR ISO/CIE 8995:2013; (5) Análise da eficiência energética do projeto; (6) Análise do custo do projeto.

3.1. Análise da legislação em compras públicas

Nesse tópico apresentam-se as leis que embasam a sustentabilidade como critério de seleção nas compras públicas, bem como os princípios para sua aplicação.

3.1.1. Embasamento legal para sustentabilidade nas licitações

No Brasil, o direito fundamental das futuras gerações foi abarcado pela primeira vez na constituição de 1988. A constituição brasileira considera como valor supremo o bem-estar, igualdade, justiça e desenvolvimento. Na leitura desta percebemos que o desenvolvimento citado na constituição é o desenvolvimento sustentável, principalmente no art. 170º, VI que cita a defesa do meio ambiente e, mais adiante, no art. 225º (FINGER, 2014).

O art. 225 da Constituição Federal impõe ao Poder Público e a coletividade preservar e defender o meio ambiente para gerações futuras. Destacando-se no inciso V "controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente" e inciso VII "proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade" (BRASIL, 1988).

Ainda no art. 225 §3º são previstas sansões penais e administrativas a quem tomar conduta e atividade considerada lesiva ao meio ambiente, além da obrigação de reparo aos danos causados. Em se tratando de licitações, esta responsabilidade está ligada à elaboração de especificações de produtos e serviços que possam ser lesivas ao meio ambiente. Devendo-se, além de evitar danos, promover soluções eficientes e sustentáveis (BRASIL, 1988).

Conforme art. 24 da Constituição Federal, compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar sobre conservação da natureza, defesa dos recursos naturais, proteção do meio ambiente, controle da poluição e responsabilidade por dano ao meio ambiente. E ainda, segundo art. 22, legislar sobre normas gerais de licitação e contratação, em todas as modalidades, para a administração pública, direta e indireta, incluídas as

fundações instituídas e mantidas pelo Poder Público, nas diversas esferas de governo, e empresas sob seu controle (BRASIL, 1988).

O plano infraconstitucional, desde a edição da Lei nº6.938 de 1981, tem como princípio a ação do governo na manutenção do equilíbrio ecológico considerando o meio ambiente um patrimônio público (GARCIA, 2012).

A Lei nº 8.666 de 1993 - Lei de Licitações - em seu art. 6º, define projeto básico como o conjunto de elementos necessários e suficientes para caracterizar obra ou serviço objeto de licitação que assegure a viabilidade técnica e assegure o tratamento do impacto ambiental do empreendimento e, no art. 12º, inclui como requisito mínimo do projeto a observância do impacto ambiental. A Lei 8.666 foi editada ainda pela Lei nº 12.349/2010, que incluiu a promoção do desenvolvimento sustentável como um objetivo das licitações (BRASIL, 1993).

A Lei nº 12.305 de 2010 insere no processo licitatório a "promoção do desenvolvimento nacional sustentável". O artigo 7º da lei estabelece prioridade na aquisição de produtos recicláveis, análise do ciclo de vida do produto e adoção de padrões sustentáveis na produção e consumo de bens e serviços. Ainda na lei citada, é estabelecido que a licitação "destina-se a garantir a observância do princípio constitucional da isonomia, a seleção da proposta mais vantajosa para a administração e a promoção do desenvolvimento nacional sustentável" (BRASIL, 1988).

Pode-se destacar ainda a Lei nº 12.187 de 2009, que estipula critérios para prevenir a mudança climática, como no seu art. 6º, XII, onde coloca como instrumento, medidas de estímulo ao desenvolvimento de processos e tecnologias que contribuam para redução de emissões de gases de efeito estufa, estabelecendo critérios de preferência nas licitações e concorrências públicas. Desta forma, as propostas que propiciem maior economia de energia, água e outros recursos naturais, além da redução de emissão de gases de efeito estufa e de resíduos, passam a ser consideradas mais vantajosas, mesmo tendo custo de implantação maiores (BRASIL, 2009).

A Lei do Regime Diferenciado de Contratação - Lei 12.462 de 2011 - diz que as licitações e contratações devem ser realizadas buscando o desenvolvimento sustentável. No art. 4º consta que nas licitações e contratos deverá haver a busca pela maior vantagem para a administração pública, considerando custos e benefícios diretos e indiretos, econômico, social ou ambiental, inclusive na manutenção e descarte. Em outras palavras, este artigo cita o estudo do ciclo de vida como uma ferramenta fundamental na escolha de um bem ou serviço (BRASIL, 2011).

Em forma de decretos e instruções normativas, mas não menos importante, podemos citar:

• Decreto nº 7.746, de 5 de junho de 2012, alterado pelo Decreto nº 9.178, de 23 de outubro de 2017, que regulamenta o art. 3º da Lei nº 8.666/93, estabelecendo critérios, práticas e diretrizes gerais de sustentabilidade nas contratações realizadas pela administração pública federal;

• Decreto nº 10.779, de 25 de agosto de 2021, que estabelece medidas para redução do consumo de energia elétrica no âmbito da administração pública federal;

• Instrução Normativa nº 1, de 19 de janeiro de 2010, da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (SLTI/MPOG), a qual prevê expressamente que as especificações técnicas para aquisições de bens e contratações de obras e serviços deverão conter critérios ambientais nos processos de extração, fabricação, utilização e descarte de matérias-primas, sem frustrar o caráter competitivo do certame;

• Instrução Normativa nº 10, de 12 de novembro de 2012, da SLTI/MPOG, que estabelece regras para elaboração dos Planos de Gestão de Logística Sustentável de que trata o art. 16, do Decreto nº 7.746/2012, e dá outras providências.

• Instrução Normativa nº 2 de 4 de junho de 2014, da SLTI/MPOG que dispõe sobre as regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit*.

Art.2º Para os efeitos desta Instrução Normativa, considera-se:

I - edificações públicas federais são os imóveis construídos ou adaptados com recursos públicos federais para exercício de atividade administrativa ou para a prestação de serviços públicos, tais como edifícios administrativos, escolas, hospitais, postos de saúde, clínicas, museus, instituições de pesquisa e outras instituições ou associações de diversos tipos; e

II - retrofit é qualquer reforma que altere os sistemas de iluminação, condicionamento de ar ou a envoltória da edificação.

Capítulo II

DA AQUISIÇÃO OU LOCAÇÃO DE MÁQUINAS E APARELHOS

Art.3º Nas aquisições ou locações de máquinas e aparelhos consumidores de energia, que estejam regulamentados no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), conforme publicação no sítio eletrônico www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp, deverá ser exigido, nos instrumentos convocatórios, que os modelos dos bens fornecidos estejam classificados com classe de eficiência "A" na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) vigente no período da aquisição.

§1º Quando não existir, no período de aquisição, um mínimo de três fornecedores com modelos etiquetados com a ENCE classe "A" para a sua categoria, devem ser admitidos produtos etiquetados com as ENCEs nas duas classes mais eficientes que possuam um mínimo de três fornecedores com modelos etiquetados, admitida a complementação de números de fornecedores de uma classe com a de outra.

(...)Capítulo V

DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 13. A Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (SLTI/MP), disponibilizará um espaço específico no Portal Eletrônico de Contratações Públicas do Governo Federal - Comprasnet com informações sobre:

I - a aquisição de máquinas e aparelhos energeticamente eficientes e sua inclusão no objeto do processo licitatório.

3.1.2. Aplicação dos princípios da sustentabilidade

O primeiro passo para aplicar os princípios de uma licitação sustentável deve ser a definição do objeto, com critérios claros de classificação, através de uma especificação técnica objetiva e embasada, inserindo os critérios de sustentabilidade, sendo o ciclo de vida o norte para as definições de sustentabilidade. A tendência é que não se considere mais como proposta mais vantajosa aquela de menor preço, mas aquela que satisfaça melhor cada um dos interesses da sociedade, e entre eles está a proteção do meio ambiente.

Segundo Dietlein (2005) o Estado não pode se omitir na proteção dos direitos fundamentais das gerações futuras e do presente. Portanto, cabe ao Estado estar atento ao impacto ambiental de suas decisões, pois a proteção do meio ambiente é a proteção da vida presente e futura. Freitas (2010) reafirma este pensamento quando diz que o Estado não pode dar as costas para os deveres requeridos pelo desenvolvimento sustentável, com a desculpa de ausência de regras. O gestor deve sair da inércia que o impede de fazer o melhor para todas as gerações, tendo sempre como foco o Estado Sustentável onde o ciclo de vida dos produtos é de grande importância na sua aquisição.

Contudo, inserir critérios de sustentabilidade em uma aquisição pública deve ser bem estudado para não resultar em uma licitação mal-sucedida. Por este motivo, deve-se avaliar quais requisitos de sustentabilidade são possíveis de se exigir.

Os diodos emissores de luz ou LED são promissores para substituir as tecnologias de iluminação anteriores, que produziam luz a partir de gases e continham substâncias tóxicas na composição das lâmpadas, enquanto os LEDs emitem luz por eletroluminescência. Entre as vantagens do uso da tecnologia LED estão: (1) eficiência energética, com oferecimento de mais lúmens por menos *watts* consumido, com economia de 50% a 80% de energia comparada à tecnologias anteriores; (2) vida útil, com maior tempo de vida, os LEDs são construídos para terem duração estimada em até 100.000 horas de uso, o que varia dependendo do módulo eletrônico empregado; (3) proteção ao meio ambiente, com menor energia consumida durante o ciclo de vida do produto (período entre a fabricação, utilização até o fim de vida); (4) economia de custos, com energia demandada reduzida, menor custo de manutenção e inspeção (TEIXEIRA, RIVERA, REIFF, 2016).

Tomando o que dispõe a Instrução Normativa n°2 de 4 de junho de 2014, máquinas e parelhos que façam parte do PBE devem ser adquiridos com etiqueta A. No caso das lâmpadas LED, a Portaria n° 144 de 13/03/2015 apresenta os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Lâmpadas LED com Dispositivo Integrado à Base. Não há, no entanto, previsão de etiquetagem para outros tipos de lâmpadas ou de luminárias para ambientes internos. Neste caso, deve-se licitar luminárias LED por outros critérios que não os da IN 2/2014.

3.2. Estudo de Caso

O objeto tomado para estudo foram as salas de aula do Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), locado no *campus* Pampulha, em Belo Horizonte, Minas Gerais. A edificação possui 25 salas de aulas, sendo que 23 das salas possuem desenho similar, com áreas entre 92,6 m² e 94,6 m², e 2 salas são menores, com 64 m². No estudo em questão, considerou-se a Sala 403 do edifício, no 4º pavimento, considerada uma sala tipo, com 92,6 m². O edifício faz parte do escopo do Projeto Oásis, um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional, iniciado em 2019, que visa implementar a

redução de custos e a sustentabilidade energética no *campus*, com o uso de novas tecnologias junto à produção científica. O projeto contempla a análise de eficiência energética de edificações, através dos requisitos do sistema de etiquetagem PBE Edifica.

O edifício possui 25 salas de aula, sendo 55% da sua área destinada para esse fim. O sistema de iluminação existente nas salas de aula é composto por luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 16W e 32W com reatores, instaladas em eletrocalha suspensa (MONTEIRO *et al*., 2022). Não há iluminação direcionada para o quadro. As informações do projeto arquitetônico, luminotécnico e elétrico foram obtidas através das plantas e cortes em AutoCAD, com projetos disponibilizados pelo Departamento de Planejamento e Projetos da Universidade, e visitas *in loco*.

(A) (B)

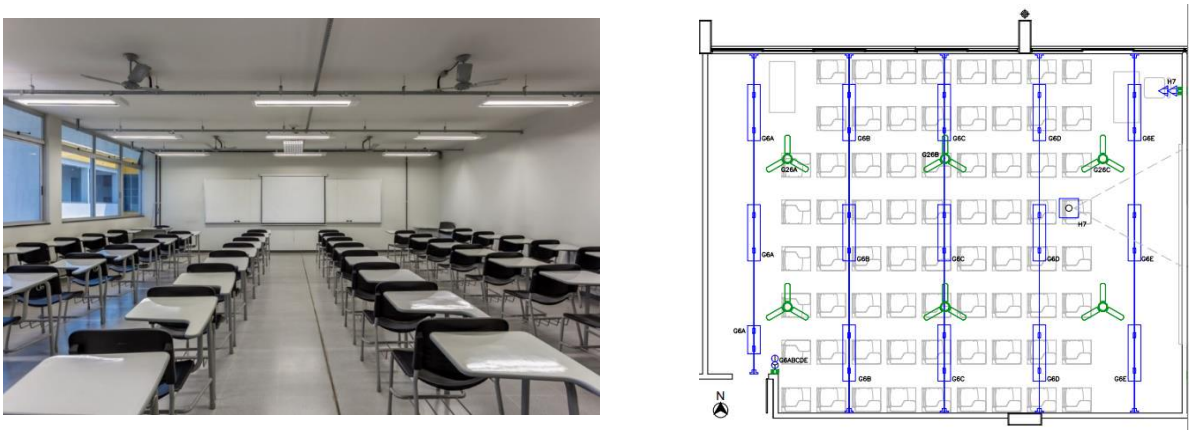


Figura 1 - Interior de sala de aula tipo do CAD 3 (A) Foto (B) Planta-baixa do projeto luminotécnico e elétrico da Sala 403 (ARCHDAILY, 2020; DPP-UFMG, 2021).

3.2.1. Retrofit do sistema de iluminação

Na proposta de *retrofit* do sistema de iluminação, optou-se por fixar as novas luminárias nas eletrocalhas já existentes (ver figura 1a), a fim de dirimir custos com obra. Foi sugerida a troca do sistema de luminárias e lâmpadas fluorescentes por luminárias com LED integrado, com Temperatura de Cor Correlata (TCC) de 4.000 K (luz neutra), com três características distintas: (1) luminária LED com luz difusa com comprimento aproximado de 1,20 cm; (2) luminária LED com luz difusa com comprimento aproximado de 0,60 cm, para necessidade de se adaptar à geometria da sala; (3) luminárias LED com facho de luz assimétrico para iluminação do quadro, com comprimento aproximado de 1,20 cm. Para isso, foram levantados possíveis fornecedores junto à Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux).

O levantamento de opções de luminárias LED dos três tipos e o custo dessas foi feito com cada fornecedor via telefone e *e-mail*, entre os meses de maio e junho de 2022. A princípio, antes de se ter o projeto dimensionado, foram solicitados os orçamentos com os seguintes quantitativos: 1.000 unidades da luminária Tipo 1, 1.000 unidades da luminária Tipo 2 e 300 unidades da luminária Tipo 3.

Para dimensionamento do novo sistema de iluminação, para cada fornecedor, utilizou-se:

(1) Método dos Lúmens para calcular a iluminância média no plano de trabalho horizontal (Equação 1), que deve ser de 500 lux, medido a 0,75 m do piso, conforme NBR ISO/CIE 8995:2013.

$$E = \frac{N_{lum} \times N_l \times \varphi \times \mu \times d}{S} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde: N_{lum} = número de luminárias; N_l = número de lâmpadas; φ = fluxo luminoso da lâmpada; μ = coeficiente de utilização; d = coeficiente de depreciação; S = área do ambiente.

(2) Simulação computacional para o cálculo da iluminância média no plano vertical do quadro, já que o Método dos Lúmens não se aplica para iluminância vertical. Segundo a NBR ISO/CIE 8995:2013, a iluminância média no quadro também deve ser de 500 lux. O *software* utilizado para esse cálculo foi o DialuxEvo. Para cálculo no *software*, utilizou-se o arquivo em formato "ies" disponibilizado pelos fornecedores das peças, que reproduz o comportamento da emissão de luz da luminária no ambiente virtual.

A análise da eficiência energética do sistema de iluminação seguiu a Instrução Normativa do Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), sendo estabelecido que, para o sistema de iluminação de salas de aula, o valor limite de Densidade de Potência Instalada (DPI_L) para nível A é de 9,9 W/m², enquanto o DPI_L para nível D é de 16,32 W/m² (BRASIL, 2021). Para essa análise, calculou-se a DPI_L e a Potência Instalada Limite (PI_L) para os níveis A e D, dos novos sistemas propostos.

4. RESULTADOS

4.1. Análise da legislação em compras públicas

A partir da pesquisa realizada, o estudo selecionou fornecedores de luminárias LED, considerando como fatores principais de análise a eficiência luminosa e vida útil dos produtos.

4.2. Estudo de Caso

Na busca por fornecedores com os três tipos de luminárias, encontrou-se dificuldades no fornecimento da luminária Tipo 3, com facho assimétrico para iluminação do quadro. No entanto, quatro foram os fornecedores encontrados, com as luminárias e características apresentadas na Tabela 1.

Nesta Tabela, as luminárias de número 1 são as de ~1,2m, as de número 2 possuem ~0,60 m e as de número 3 são as com facho assimétrico para iluminação do quadro.

Tabela 1 – Características das luminárias a partir de 4 fornecedores encontrados.

Tipo de Luminária	Fornecedor	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida útil (horas)	Fluxo luminoso (Φ)	Potência (W)	Valor unitário (R$)
1	1	124	50.000	4.450	36	212,20
	2	111	50.000	5.457	49	442,97
	3	116	50.000	4.400	38	368,97
	4	42	50.000	4.200	100	791,40
2	1	120	50.000	2.225	18,5	164,53
	2	118	50.000	3.648	31	323,32
	3	116	50.000	2.200	19	304,97
	4	44	50.000	2.200	50	563,54
3	1	107	50.000	3.740	35	492,02
	2	103	50.000	5.060	49	442,97
	3	116	50.000	4.400	38	385,97
	4	50	50.000	2.200	44	326,49

Legenda: Eficiência luminosa < 100 lm/W

As luminárias solicitadas apresentaram como características comuns a curva de distribuição luminosa e a dimensão aproximada. Coincidentemente, os fornecedores apresentaram luminárias com mesma vida útil. No entanto, as demais características das três peças são distintas entre si. Três dos fornecedores apresentaram luminárias com eficiências energéticas semelhantes para as três luminárias, sendo que apenas 1 dos fornecedores apresentou luminárias com eficiência luminosa inferior a 100 lm/W (Fornecedor 4). As potências para um mesmo tipo de luminária variaram da ordem de 3 vezes, sendo que entre os três fornecedores com melhor eficiência energética, as potências variaram em até 26%. Já os preços das luminárias variaram mais de 3 vezes para o mesmo tipo de luminária. O fluxo luminoso foi a grandeza que teve menor variação percentual entre os 4 fornecedores, chegando a ser praticamente coincidente em alguns casos. A maior variação de fluxo luminoso foi encontrado para luminária assimétrica para as quais houve uma variação de até 2,3 vezes entre o maior e o menor valor.

Por isso, na concepção do projeto, quatro projetos luminotécnicos diferentes tiveram que ser feitos, a fim de se dimensionar o sistema para atender à iluminância mínima exigida pela NBR ISO/CIE 8995:2013 no plano de trabalho horizontal e no quadro vertical. No caso da luminária Tipo 3, de facho assimétrico, um dos fornecedores contatados afirmou não ter o arquivo “ies” para simulação computacional da luminária no espaço. Assim, a partir do fluxo luminoso total obtido com as Luminárias Tipo 3 do Fornecedor 1 (14.960 lúmens), da qual foi realizada simulação, estimou-se o quantitativo de peças necessárias para se alcançar a iluminância mínima de 500 lux no quadro, com a luminária do Fornecedor 2.

Aplicando o método dos lúmens, a simulação computacional e a estimativa, o dimensionamento do número de luminárias para uma sala padrão, seguiu o disposto na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensionamento do número de luminárias para uma sala padrão.

Fornecedor	Num Luminária Tipo 1	Potência luminária (W)	Fluxo luminoso	Ku	Num Luminária Tipo 2	Potência luminária (W)	Fluxo luminoso	Ku	Iluminância média horizontal calculada	Num Luminária Tipo 3	Potência luminária (W)	Fluxo luminoso	Iluminância média vertical calculada pelo *software*
1	10	36	4.450	1,0	1	18,5	2.225	1,0	504	4	35	3.740	505
2	8	49	5.457	1,0	1	31	3.648	1,0	511	3	49	5.060	Cálculo por estimativa
3	10	38	4.440	1,0	1	19	2.220	1,0	503	5	38	4.400	522
4	11	100	4.200	1,0	1	50	2.100	1,0	521	5	44	2.200	555

Considerados os requisitos da INI-C (BRASIL, 2021), obteve-se o cálculo da DPI e PI para as luminárias fornecidas pelos quatro fornecedores e calculou-se o custo total de cada projeto (Tabela 3).

Tabela 3. Análise da eficiência energética pela INI-C e custo total para uma sala.

	Análise pela INI-C (2021)							**Custo**			
Fornecedor	Potência total instalada (W)	DPI (W/m²)	P_L NÍVEL A (W)	P_L NÍVEL D (W)	DPI_L NÍVEL A (W/m²)	DPI_L NÍVEL D (W/m²)	Atende ao limite máximo para A?	Luminária Tipo 1	Luminária Tipo 2	Luminária Tipo 3	Custo total
1	518,5	5,60	917,14	1.511,88	9,90	16,32	Sim	2.122,00	164,53	1.968,08	4.254,61
2	570	6,15					Sim	3.543,76	323,32	1.328,91	5.195,99
3	589	6,36					Sim	3.689,70	304,97	1.500,00	5.494,67
4	1.370	14,79					Não	8.705,40	563,54	1.632,45	10.901,39

Assim, nota-se que três dos projetos alcançariam o nível máximo (A) de eficiência energética, segundo a INI-C, sendo que o projeto do Fornecedor 4 se limitaria à classificação de nível D. O projeto mais eficiente, com menor DPI foi o propiciado pelo Fornecedor 1, que também teve o menor custo.

5. CONCLUSÕES

A partir dos estudos legislativos que pautam as licitações públicas, e pelos cálculos apresentados no presente artigo, entendeu-se que a eficiência luminosa da luminária é o parâmetro primordial na concepção de um projeto luminotécnico. A luminária não pode ser comparada com outras consideradas semelhantes por sua potência como era feito com as lâmpadas fluorescentes disponíveis no mercado, ou apenas por sua geometria, já que luminárias de geometria semelhante podem apresentar eficiências bastante distintas. Devem isto sim ser especificadas por uma eficiência mínima para determinada geometria (ou tamanho).

No entanto, ressalta-se que sendo feita licitação por eficiência luminosa mínima, um problema encontrado é que o projeto luminotécnico será diferente para cada fornecedor. Uma vez que as luminárias disponíveis no mercado apresentam diferentes fluxos luminosos, o número de luminárias será sempre diferente, devendo este ser calculado para cada marca de fornecimento. Assim, compreende-se que a concorrência deve ser feita com base no projeto, no conjunto do sistema de iluminação, com análise, principalmente, da eficiência luminosa de todo o projeto. Cada fornecedor vai ter uma quantidade de luminárias para um mesmo espaço, com fornecimento de uma iluminância média, um custo de substituição e uma eficiência energética. Além

disso, cada projeto pode demandar um projeto elétrico diferente. Uma mudança de fornecedor exige mudança de projeto, e esse é um problema que se retroalimenta.

Outro desafio encontrado é que o método dos lúmens, mais rápido no caso de licitações, não resolve a iluminância vertical. Então, um projeto computadorizado deve ser feito para verificação da iluminância vertical no quadro, no caso das salas de aula. Para fazer o projeto, deve-se selecionar a luminária, sempre diferente entre os fornecedores, e nem todos tem a disposição o arquivo "ies" da luminária.

Conclui-se que não se pode escolher o fornecedor, sem antes analisar o projeto que este fornece. No entanto, visando a análise de preços, normalmente solicita-se o orçamento de um número de luminárias que pode ser superdimensionado e não dá subsídio para se verificar a eficiência do sistema de iluminação a ser implantado. Por isso, o ideal seria fazer a concorrência do *retrofit* do sistema de iluminação como um todo, considerando o custo global da aquisição e a eficiência global do sistema, e não de cada luminária. Dessa forma, o gestor público terá ferramentas para adquirir o sistema de melhor custo-benefício, que atenda aos requisitos de iluminância e eficiência energética.

Tem-se ainda que, mesmo que as questões de licitação sejam resolvidas, a aquisição de luminárias LED implica que, ao final de sua vida útil, estas tenham que ser integralmente substituídas e que, se cada unidade da Universidade adquirir luminárias distintas entre si, tal fato poderá levar a problemas para o setor de manutenção, já que haverá a necessidade de se ter em estoque um elevado número de sistemas distintos. Tal fato pode ser minimizado perante a elevada vida útil destes novos sistemas. Em função desta barreira, nesse momento a Universidade tem optado por manter as luminárias existentes e fazer a substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

ABILUX. **Associação Brasileira da Indústria de Iluminação: Associados**. São Paulo, 2022. Disponível em: https://www.abilux.com.br/associados/.

BERZOINI, Juliana. **Projeto do CAD 3 é apresentado no principal site de divulgação da arquitetura mundial**. UFMG Comunicação, 2020. Disponível em: https://ufmg.br/comunicacao/noticias/projeto-do-cad-3-e-apresentado-no-principal-site-de-divulgacao-da-arquitetura-mundial. Acesso em 10 mar. 2022.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA -INMETRO. **Instrução Normativa para a classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas**. Portaria Nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. Brasília, 2021, 133 p.

BRASIL. **Constituição da República Federativa**, 1988.

BRASIL. **Lei 8.666 de 21 de junho de 1993**. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências.

BRASIL. **Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. **Lei 12.187 de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.

BRASIL. **Lei 12.462 de 4 de agosto de 2011**. Institui o Regime Diferenciado de Contratações Públicas – RDC.

CATIVA ILUMINAÇÃO. **Catálogo de Produtos**. São Paulo, 2022. Disponível em: https://www.cativailuminacao.com.br/catalogo/.

DIETLEIN, Johannes. **Die Lehre von den grundrechtichen Schultzpflichten**. Berlim. Duncker und Humblot, 2005.

FINGER, Ana C.; QUETES, Regeane B. Licitações e contratos administrativos sustentáveis como um instrumento de concretização da supremacia do interesse público. **A&C – Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, Belo Horizonte, ano 14, n. 57, p. 105-131, jul./set. 2014.

FREITAS, Juarez. A Interpretação Sistemática do Direito. **São Paulo. 5ª ed. Malheiros**, 2010.

FREITAS, Juarez. Princípio da sustentabilidade: licitações e a redefinição da Proposta mais vantajosa. **Revista do Direito UNISC**, Santa Cruz do Sul, n. 38, p. 74-94, jul. 2012.

FURTADO, Madeline R.; FURTADO, Monique R. R. **Licitações sustentáveis: como fazer?** Fórum de Contratação e Gestão Pública – FCGP, Belo Horizonte, ano 11, n. 126, p. 69-72, jun. 2012.

GARCIA, Flávio A.; RIBEIRO, Leonardo C. Licitações Públicas Sustentáveis. **Revista do Direito Administrativo**, Rio de Janeiro, v. 260, p. 231-254, mai. 2012.

ITAIM LIGHTING CONCEPT. **Produtos**. São Paulo, 2022. Disponível em: https://itaimlc.com.br/pt/produtos/.

LAMBERTS, Roberto; PEREIRA, Fernando O. R.; DUTRA, Luciano. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3 ed, Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2014.

ÔMEGA LIGHT. **Produtos: Comercial**. Diadema, 2022. Disponível em: https://www.omegalight.com.br/pt/produtos/#comercial.

RIBEIRO, Cássio G.; JÚNIOR, Edmundo, I. **O mercado de compras governamentais brasileiro (2006-2017): mensuração e análise**. Brasília, maio 2019. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9315/1/td_2476.pdf

LUMICENTER LIGHTING. **Catálogo de produtos: Linhas Comercial e Industrial**. São Paulo, 2022. Disponível em: https://www.lumicenteriluminacao.com.br/catalogo/iluminacao-led-comercial-industrial-c80/.

MONTEIRO, L. A; AVELAR, P. R.; PADILHA, D. B.; MEDEIROS, H. G.; SOUZA, R. V. G. **Sistema de iluminação do CAD 3 - análise pela INI-C para *retrofit*.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 19, 2022, Canela. Anais...

SANCHES, Teresa. **UFMG mira geração própria de energia e economia de 50% na conta de luz.** UFMG Comunicação, 2020. Disponível em: https://ufmg.br/comunicacao/noticias/projeto-de-eficiencia-energetica-da-ufmg-mira-geracao-propria-e-economia-de-50-na-conta-de-luz. Acesso em 12 jan. 2022.

TEIXEIRA, Ingrid; RIVERA, Ricardo; REIFF, Luís O. Iluminação LED: sai Edison, entram Haitz e Moore – benefícios e oportunidades para o país. Tecnologias da Informação e Comunicação. **Banco Nacional do Desenvolvimento, BNDES Setorial 43**, p. 363-412, março de 2016.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pelo fomento à pesquisa.