



Eficiência energética e redução do consumo de energia por meio da integração da luz natural e artificial no ambiente de ensino

ARTIGO ORIGINAL

DIAS, Rogério de Carvalho França ^[1], BRUNA, Gilda Collet ^[2]

DIAS, Rogério de Carvalho França, BRUNA, Gilda Collet. **Eficiência energética e redução do consumo de energia por meio da integração da luz natural e artificial no ambiente de ensino**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 04, Vol. 01, pp. 59-79. Abril de 2019. ISSN: 2448-0959.

RESUMO

O uso eficiente da iluminação na arquitetura está condicionado ao estudo da disponibilidade da luz natural e sua integração ao sistema de iluminação artificial. A iluminação artificial é considerada como um dos maiores gastos energéticos nos edifícios de ensino, depois dos sistemas de ar condicionado. O objetivo dessa pesquisa é compreender, por meio de simulações computacionais, a potencialidade de aproveitamento da luz natural, em sistemas automáticos de controle da iluminação artificial. O método foi aplicado num estudo de caso único, a análise foi realizada em uma sala de projeto do curso de Arquitetura e Urbanismo da Fundação Amando Alvares Penteado - FAAP. O modelo foi desenvolvido por meio dos softwares de cálculo e modelagem Dialux Evo 8.1 e o Plug-in Diva do Rhinoceros, foram realizadas simulações dinâmicas da luz natural e artificial em todos os meses do ano, para obtenção da iluminância média mensal, por zonas de iluminação, em horário comercial. Esta análise se apoia nas normas Brasileiras, NBR ISO/CIE.

Palavras-chave: projeto luminotécnico integrado, iluminação natural, iluminação artificial, eficiência energética.

INTRODUÇÃO

A iluminação é um dos parâmetros essenciais para a concepção de qualquer projeto, e o tipo de iluminação irá caracterizar a edificação e adequar sua função, possibilitando o exercício de atividades visuais. Em edificações de ensino, o projeto de iluminação possibilita o desenvolvimento de tarefas

visuais que auxiliarão no aprendizado.

A utilização da iluminação natural em edifícios de ensino é relevante tanto para atender questões econômicas (economia de energia), quanto pelo fato estético e psicológico, visto que a luz natural é preferida pelo ser humano. Apesar disto, deve-se lembrar de que a luz natural é variável e não está disponível em todas as 24 horas do dia, tornando necessário o emprego de uma fonte de iluminação artificial que substitua a iluminação natural durante a noite e suplemente a iluminação natural durante os períodos em que os níveis de iluminação fornecidos estejam menores que os recomendados. No que diz respeito à iluminação de edificações, a eficiência energética pode ser alcançada por meio de dois fatores: uso adequado da luz natural e de sistemas de iluminação artificial eficientes. Quando ambos os fatores são reunidos numa proposta projetual, aumentam as chances de êxito com relação à economia de energia (TOLEDO, 2008).

No processo de ensino-aprendizagem que ocorre em salas de aula de projeto é necessário que o ambiente físico seja adequado e com condições mínimas de conforto, de forma a contribuir positivamente no desempenho das atividades desenvolvidas por alunos e professores. Neste contexto, o conforto térmico e lumínico são elementos fundamentais na garantia de uma boa condição ambiental, devendo haver preocupação quanto à escolha do sistema de iluminação artificial e elementos de controle da luz natural.

Uma das principais vantagens da luz natural é a qualidade da luz que proporciona. A visão humana evoluiu ao longo de milhões de anos usando a luz natural - uma combinação de luz solar direta e luz difusa do céu - e por esse motivo apresenta maior facilidade de se adaptar a ela. A luz natural é uma fonte luminosa que abrange toda a gama de radiações do espectro eletromagnético e por isso é usada como referência na comparação com as fontes artificiais, por sua vez, também é considerada a melhor fonte de luz para a fidelidade na reprodução de cores (ROBBINS, 1986).

A luz é parte integrante do processo de aprendizado, sendo essencial para o mecanismo da visão, pois sem ela não se consegue ver. É fundamental também para todos os processos que tornam possível ao cérebro relacionar-se com o meio ambiente. Nas últimas décadas, a ênfase no desempenho de atividades de trabalho humano tem se deslocado da força física para o sistema visual, usando as funções moto-sensoras. O sistema visual transformou-se, assim, na principal ferramenta de trabalho para milhões de pessoas, que recebem boa parte das informações por meio da visão. Da mesma forma, entre os muitos fatores que influenciam os processos de aprendizagem, aqueles relacionados com as condições ambientais têm um papel importante, pois boas condições de iluminação, favorecem o desempenho visual (BERTOLOTTI, 2007).

Para Rennhackkamp (1964, p.60-61), "uma vez que a função primordial de uma instituição de ensino é estimular o processo educacional no seu sentido mais amplo, todos os esforços deveriam ser feitos para fornecer aos estudantes um ambiente educacional adequado e estimulante. Neste sentido, a importância de uma boa iluminação para o desenvolvimento dos alunos, preservando sua visão, não deve ser subestimado". Em linhas gerais, o sistema visual terá um desempenho mais rápido e mais apurado quanto maior for o campo visual, maior o contraste de luminâncias, melhor a diferenciação de cores, produzindo uma imagem clara na retina e, quanto maior for à iluminação na retina, mais rápido e mais refinado será o desempenho do sistema visual (BERTOLOTTI, 2007).

A utilização de iluminação natural como fonte principal de luz em edifícios de aprendizagem também tem

um potencial enorme de conservação de energia. Instituições de ensino, tipicamente têm seu principal consumo de energia representado pela iluminação artificial. Romero (1996) verificou que o sistema de iluminação da Universidade de São Paulo, por exemplo, era responsável por 65,5% do consumo de eletricidade total do campus. Também, Ghisi (1997) em sua dissertação de mestrado, avaliou as condições de iluminação natural em salas de aula do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, com o intuito de determinar o potencial de conservação de energia elétrica. Sua conclusão foi que os 9% de economia possíveis de serem gerados com a redução da utilização da iluminação artificial, obedecendo aos níveis mínimos estipulados em norma, representavam uma economia de 0,9 GWh/ano, equivalentes a R\$ 86.650,00 ao ano (BERTOLOTTI, 2007).

A correta utilização da iluminação natural deveria prover níveis de iluminação satisfatórios para o desenvolvimento de tarefas visuais, com o mínimo de desperdício de energia. Nos Estados Unidos, onde os gastos com energia em Instituições de Ensino incluem despesas com ar condicionado e calefação, (Nickolas e Bailey, 2002) compararam três novas escolas construídas no estado da Carolina do Norte, e projetadas para permitir o uso sustentável da iluminação natural, com as outras existentes no estado. Eles concluíram que o potencial de redução dos gastos com energia representava de 22% a 64% nas novas unidades.

Além disso, o crescente consumo da energia gerada tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento, precisam controlar esse gasto como parte do programa de economia do país. O Brasil se inclui neste grupo, embora o consumo de energia em seu território não seja tão elevado como o consumo de energia em países de área territorial equivalente, por exemplo, os Estados Unidos (EUA) e a Austrália (LAMBERTS, 2004).

IMPORTÂNCIA

É que a crise energética pela qual a sociedade moderna passa hoje, obriga a todos a uma “economia” permanente nos processos de projetos de edifícios, visando o controle de gastos energéticos. Os sistemas de iluminação, responsáveis por grande parte da energia consumida em uma edificação vêm se tornando um dos principais alvos, na busca dessa eficiência energética. Segundo Jannuzzi (1992), cerca de 16% do total da energia elétrica consumida no país é para iluminação, e este consumo é distribuído da seguinte maneira: 4% para iluminação residencial; 6% para iluminação comercial, 2% para iluminação industrial, 3% para iluminação pública.

As projeções das demandas mundiais até 2030 mostram um cenário de escassez dos recursos chave como energia (50%); água (40%); e alimentos (5%). (WORLD ENERGY COUNCIL, 2015) As constantes crises energéticas que vêm ocorrendo nos últimos 30 anos, com ameaças de racionalização de energia, associadas à falta de um padrão de qualidade nos equipamentos elétricos tornam este cenário mais alarmante.

No Brasil, segundo o relatório da EPE - (Empresa de Pesquisa Energética) de 2014, os edifícios de ensino representam um gasto energético de 4,6% da energia total. Nos edifícios de ensino, a iluminação artificial dos ambientes é responsável por grande parte do consumo de energia junto com o sistema de condicionamento artificial. Isto pode ser revertido, gerando maior economia, quando as edificações são dotadas de dispositivos mais eficazes, associados a estratégias e projetos que priorize o aproveitamento da iluminação e ventilação natural. Segundo a ABILUX (1995), a iluminação artificial pode ser responsável

por até 90% do consumo de eletricidade. Com a otimização dos projetos de edifícios para o aproveitamento do potencial de iluminação natural disponível no país, é possível reduzir o consumo de energia elétrica para a geração de iluminação artificial.

Como discutido acima os maiores gastos energéticos nos grandes edifícios de ensino são devidos ao consumo de equipamentos com ar condicionado, e com a iluminação artificial. Na arquitetura, aplicando-se os conceitos de sustentabilidade pode-se contribuir para reverter esse quadro, sem deixar de considerar a busca de qualidade na iluminação artificial.

No que diz respeito à iluminação de edificações, a eficiência energética pode ser alcançada através de dois fatores: O uso adequado da luz natural e o uso de sistemas de iluminação artificial eficientes. Quando estes fatores são reunidos numa proposta projetual, aumentam as chances de êxito do projeto com relação à economia de energia.

De acordo com Souza (2003, p.13-14) "a utilização eficiente qualitativa e quantitativa de sistemas integrados de iluminação artificial e natural proporciona aos usuários ambientes agradáveis e prazerosos, evitando desperdício de energia elétrica e proporcionando o retorno em curto prazo do investimento inicial em sistemas tecnologicamente eficientes". A economia de energia elétrica pode ser significativa quando a luz natural atuar em conjunto com um sistema de controle adequado da iluminação artificial.

Para tirar proveito da iluminação natural em um edifício, o sistema de controle da iluminação artificial deve desligar ou reduzir a intensidade (dimerizar) da iluminação artificial nos momentos em que a iluminação natural for suficiente. A iluminação artificial deve operar para suplementar as mudanças nos níveis da iluminação natural, durante o dia e manter constante a iluminância de projeto, usando as mais eficientes tecnologias e estratégias de controles disponíveis (LANL, 2002).

Atualmente com o grande avanço na tecnologia de controles para iluminação, a quantidade de projetos que buscam a integração do sistema natural com o artificial vem aumentando. Para a utilização destes controles, visando aproveitar ao máximo os benefícios da luz natural, torna-se necessário compreender o seu comportamento dentro do ambiente, e avaliar a economia proporcionada pela iluminação na etapa do pré-projeto de uma edificação ou de um retrofit.

A integração da luz natural e artificial tem início na determinação das intenções globais do projeto luminotécnico. É quando se Define, então, os papéis a serem desempenhados pela luz natural e pela luz artificial para que os objetivos do projeto sejam atingidos. Antes de mais nada é preciso analisar o desempenho da luz natural no ambiente, em diferentes períodos ao longo do ano. Podem ser observados os níveis de luminância das superfícies, as zonas luminosas, as variações sazonais da disponibilidade de luz natural (direção e intensidade), e a mudança na distribuição da luminosidade com aberturas e elementos de controle da luz solar direta (IESNA, 2000).

A luz natural é tanto elemento de projeto, quanto sistema ambiental. Enquanto elemento de projeto pode valorizar aspectos estéticos e qualitativos de conforto da edificação. Enquanto sistema ambiental deve ser analisado quantitativamente, segundo o desempenho de seus atributos (iluminação, energia e economia), suas características físicas, e sua interação com outros sistemas ambientais, incluindo iluminação artificial, condicionamento de ar e estruturas (ROBBINS, 1986).

Diferentes métodos para projeto luminotécnico são descritos por vários autores, principalmente em trabalhos que tratam da luz natural. Usualmente são divididos em métodos de cálculos, métodos gráficos e também é considerado o uso de modelos reduzidos para avaliação do comportamento da luz natural, seja sob a luz do dia real ao ar livre, ou sob um céu artificial criado em laboratório.

Com as facilidades oferecidas pelos recursos da computação, muitos programas de simulação foram criados para facilitar a aplicação das rotinas de cálculo estabelecidas pelos métodos. Os programas implementam os algoritmos de métodos de cálculo possibilitando o estudo de edificações de forma complexas com agilidade e precisão. (Lima e Christakou, 2007).

O presente trabalho busca avaliar a adequação do sistema de iluminação suplementar ao sistema de iluminação natural existente, em sala de aula padrão, através da integração dos dois sistemas de iluminação. Objetiva-se o aproveitamento da iluminação natural, e a obtenção de propostas de um sistema de iluminação artificial diferenciado que permita o desenvolvimento das atividades executadas em sala de aula, além de oferecer melhor qualidade de iluminação aos seus usuários.

NAS SALAS DE AULA

O sistema de iluminação artificial apresentado atualmente em salas de aulas, não leva em conta a diversidade das atividades executadas nestes ambientes e, muitas vezes, desconsidera parâmetros importantes como: a orientação, as dimensões e as atividades visuais desenvolvidas. Aparentemente, o objetivo geral dos projetos de iluminação artificial é atingir níveis de iluminação satisfatória recomendados, com baixo custo de implementação. Apesar de busca-se economia e praticidade, os projetos de iluminação artificial implantados são “indiferentes” à incidência de luz natural no edifício, o que conseqüentemente leva ao desperdício.

Devido à grande preocupação mundial quanto à demasiada utilização da iluminação artificial, gerando um elevado custo na produção de energia elétrica e eventuais desperdícios, cada vez mais é preciso pensar em otimizar o uso da iluminação natural nos ambientes de ensino. Com isto, propiciando-se também um nível adequado de satisfação e bem estar dos usuários das edificações, e custos razoáveis.

A melhor utilização do potencial de iluminação natural não significa simplesmente economia de energia elétrica, mas maior racionalidade na utilização devido ao dimensionamento adequado dos sistemas de iluminação natural e artificial, levando a ambientes com melhores condições de iluminação e conforto ambiental.

É que, um projeto de iluminação inadequado, pode causar aos seus usuários um desconforto, que se traduz por fadiga visual, ofuscamento, redução de produtividade, além do aumento do consumo de ar condicionado, causado pela elevação da carga térmica. Enfrenta-se assim, gastos energéticos frente ao consumo de iluminação e demanda-se maior uso dos sistemas de controles automáticos. Passa a ser importante, também compreender por meio de simulações computacionais a potencialidade de aproveitamento da luz natural pelo uso de sistemas automáticos de controle da iluminação artificial.

Mais especificamente, procura-se analisar por meio de simulações computacionais o comportamento dinâmico da luz natural e, ao mesmo tempo, avaliar a potencialidade de aproveitamento da luz natural; analisar em que momentos a luz artificial pode suplementar a luz natural; bem como, caracterizar zonas

de iluminação natural por meio de sistemas de controles; definindo assim, estratégias de controle da iluminação artificial.

MÉTODO

Assim sendo, utilizando o método aplica o conceito de estudo de caso único incorporado, como observa Robert Yin (2010), que recomenda diferentes formas de análise do objeto, com a criação de um banco de dados organizado. Nesse trabalho será realizada uma pesquisa de análise de salas de projeto do curso de Arquitetura e Urbanismo da Fundação Armando Alvares Penteado - FAAP, o método utiliza o estudo de caso, seguindo as seguintes etapas:

Visita no local; levantamento de dados e reconhecimento dos sistemas de iluminação; levantamento e medição das iluminância nas salas de projeto; modelagem e simulação por meio do software Dialux Evo e o plug-in Diva do Rhinoceros; simulação dinâmica da luz natural e artificial de todos os meses do ano em (horário comercial); análise dos resultados com as normas vigentes NBR; apresentação de soluções de integração da luz natural e artificial.

Nesse sentido desenvolve-se o seguinte estudo de caso, este é um método quantitativo de estudo de caso, que consiste, geralmente, em uma forma de aprofundar o conhecimento de uma determinada unidade. Este estudo serve para responder questionamentos ao pesquisador, buscando conhecer o possível controle sobre o fenômeno.

Pode-se assim, contribuir para se compreender melhor os fenômenos individuais, os processos organizacionais e políticos da sociedade. Como isto é uma ferramenta utilizada para se entender a forma e os motivos que levaram a determinada decisão de iluminação. Conforme Yin (2001) o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que compreende um método que abrange tudo em abordagens específicas de coletas e análise de dados. É um método útil quando o fenômeno a ser estudado é amplo e complexo, devendo ser estudado no contexto em que ocorre, naturalmente. Tratar-se de um estudo empírico que busca determinar ou testar uma teoria, investigando um fenômeno contemporâneo a partir do seu contexto real, utilizando múltiplas fontes de evidências.

No presente estudo de caso, propõe-se analisar o comportamento da luz natural e sua potencialidade em umas das salas de projeto do curso de Arquitetura e Urbanismo da Fundação Armando Alvares Penteado - FAAP. A sala escolhida foi a, sala de projeto (sala 3207), localizada no 3º andar do prédio 3.

Observa-se a implantação do estudo de caso na figura 01 abaixo, com o posicionamento no Norte magnético que indica o percurso do sol na iluminação diária.

Figura 01 - Implantação da edificação - FAAP



Fonte: www.faap.com.br

Pelo levantamento fotográfico, procura-se conhecer o objetivo a ser estudado, para construção do modelo a ser simulado, levando em consideração, cores, acabamentos, texturas e aberturas. Conhecer essas condições permite realizar uma simulação mais precisa, veja figura 02 – abaixo.

Figura 02 - Sala 3207 (Sala de aula de projeto) – Registro Fotográfico



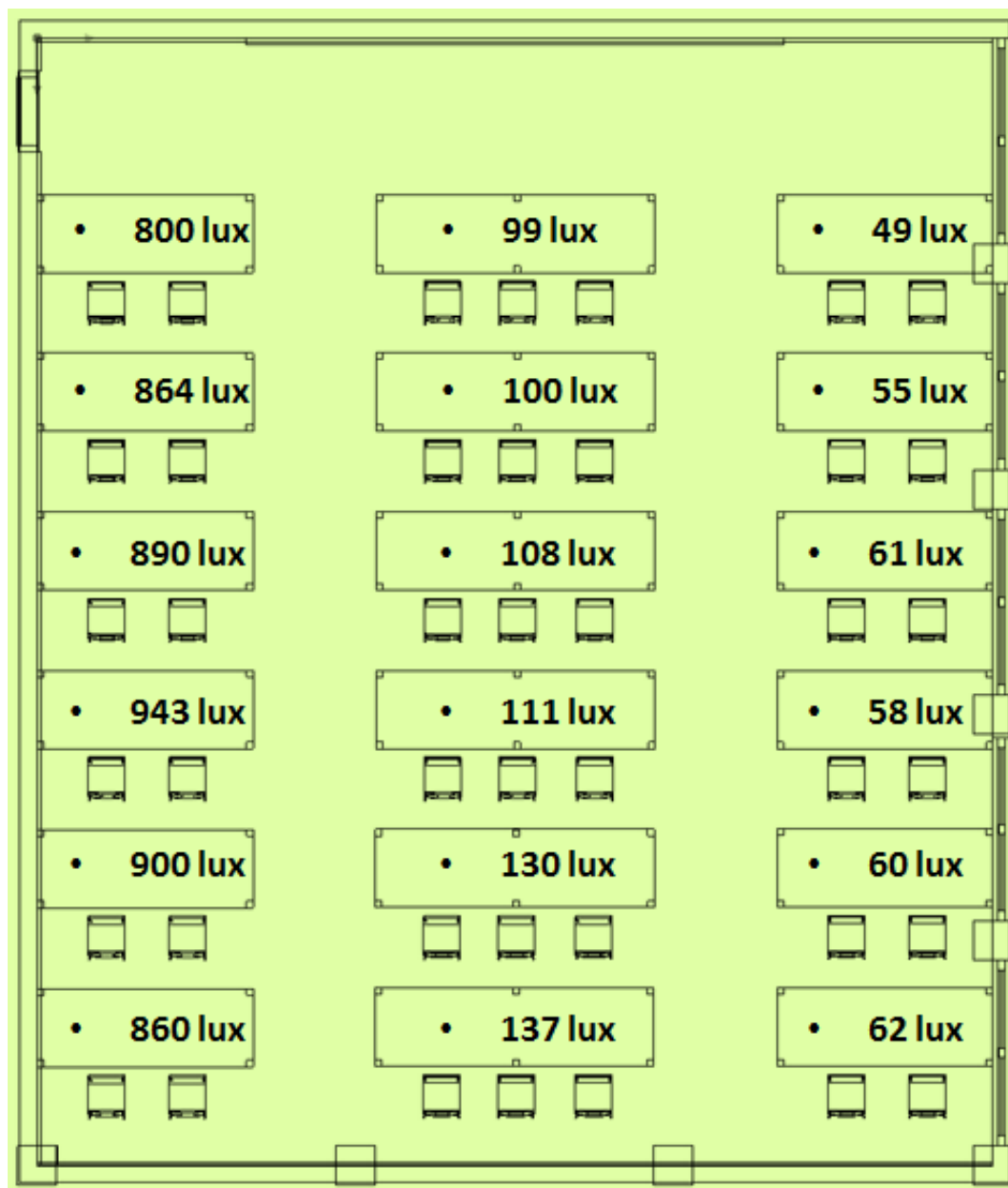
Fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

Além disso, é preciso conhecer a iluminação propriamente dita que ocorre no local. Assim foram feitas medições in loco no dia 01 de abril de 2018 às 16h, para se avaliar os níveis de iluminância, considerando os resultados do instrumento de medição luxímetro (Minipa MLM-1011), que possibilita obtenção de valores de iluminâncias em cada ponto, no plano de trabalho.

Foram realizadas duas medições: a figura 03, medindo os níveis de iluminância, considerando apenas a iluminação natural e a figura 4, medindo somente a luz artificial do ambiente. Comparando-se essas medições com as especificações normatizadas pela NRB15215-4 (2003), que determina calcular-se a quantidade mínima de pontos necessária para a medição, de acordo com a dimensão do ambiente. Sendo assim, caracterizou-se uma malha com essa distribuição, pontual, nas áreas de tarefas dos alunos. Foram estabelecidos, 18 pontos, a fim de obter resultados suficientes de iluminância, como mostra a figura 3 abaixo.

As medições é faz importante para entendermos as reais condições da iluminação no ambiente construído, já que existem muitas interferências que podem influenciar no resultado final como: cor de piso, parede, teto e móveis.

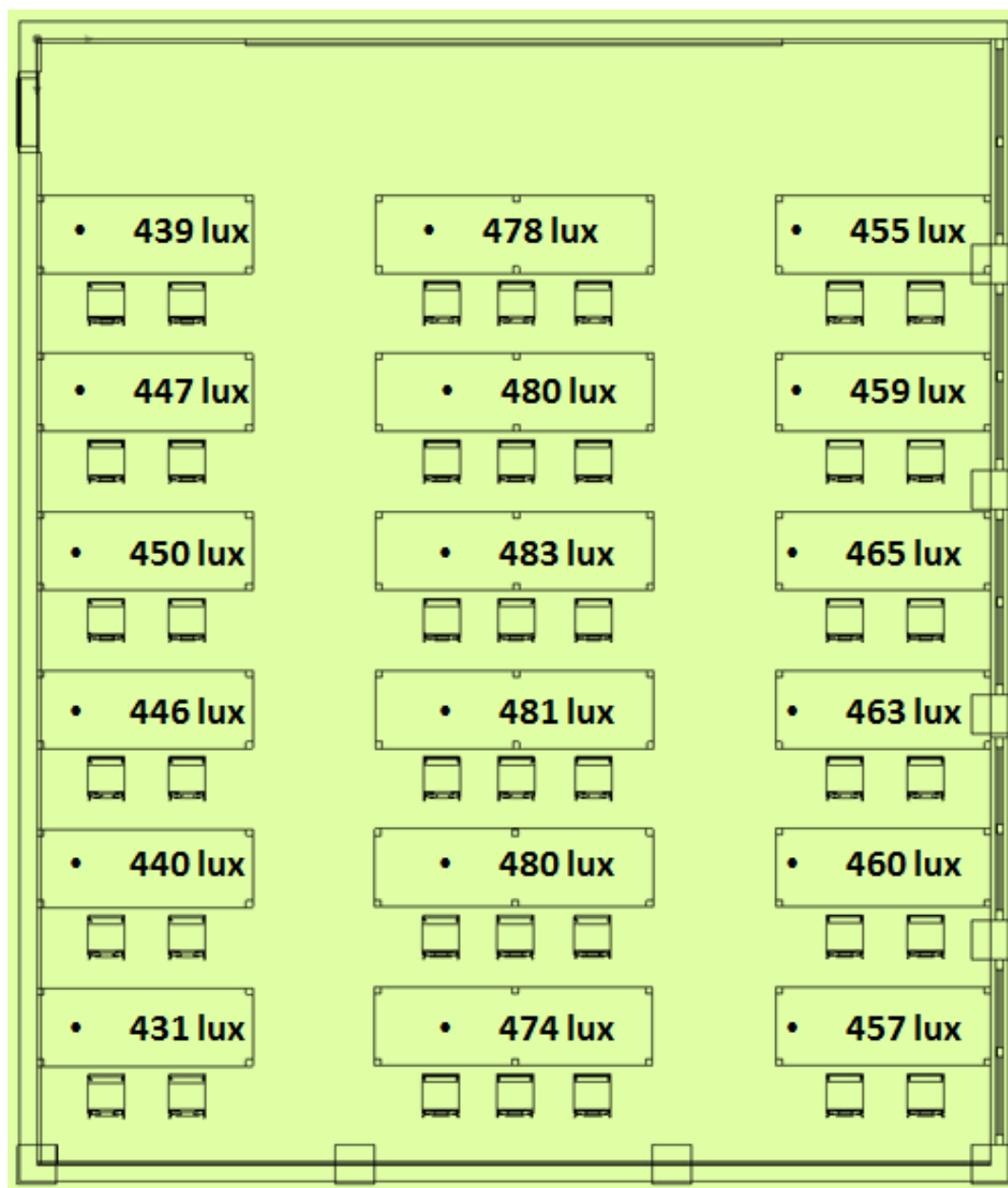
Figura 03 - Malha de pontos de medição (LUZ NATURAL)



Fonte: Acervo pessoal

do autor, 2018

Figura 04 - Malha de pontos de medição (LUZ ARTIFICIAL)



Fonte: Acervo pessoal

do autor, 2018

MODELAGEM E SIMULAÇÃO POR MEIO DO SOFTWARE DIALUX EVO^[3]

Realiza-se a modelagem e simulação da iluminação natural e artificial a partir dos dados coletados em visita in loco, respeitando as refletâncias dos acabamentos em relação à cor do piso, parede, teto e mobiliário. Foi usado o software ^[4]Dialux Evo 8.1 para realização das modelagens e simulações, assim como para a obtenção dos resultados de iluminância.

Simulação da Iluminação Natural.

Figura 05 - Simulação da Iluminação Natural

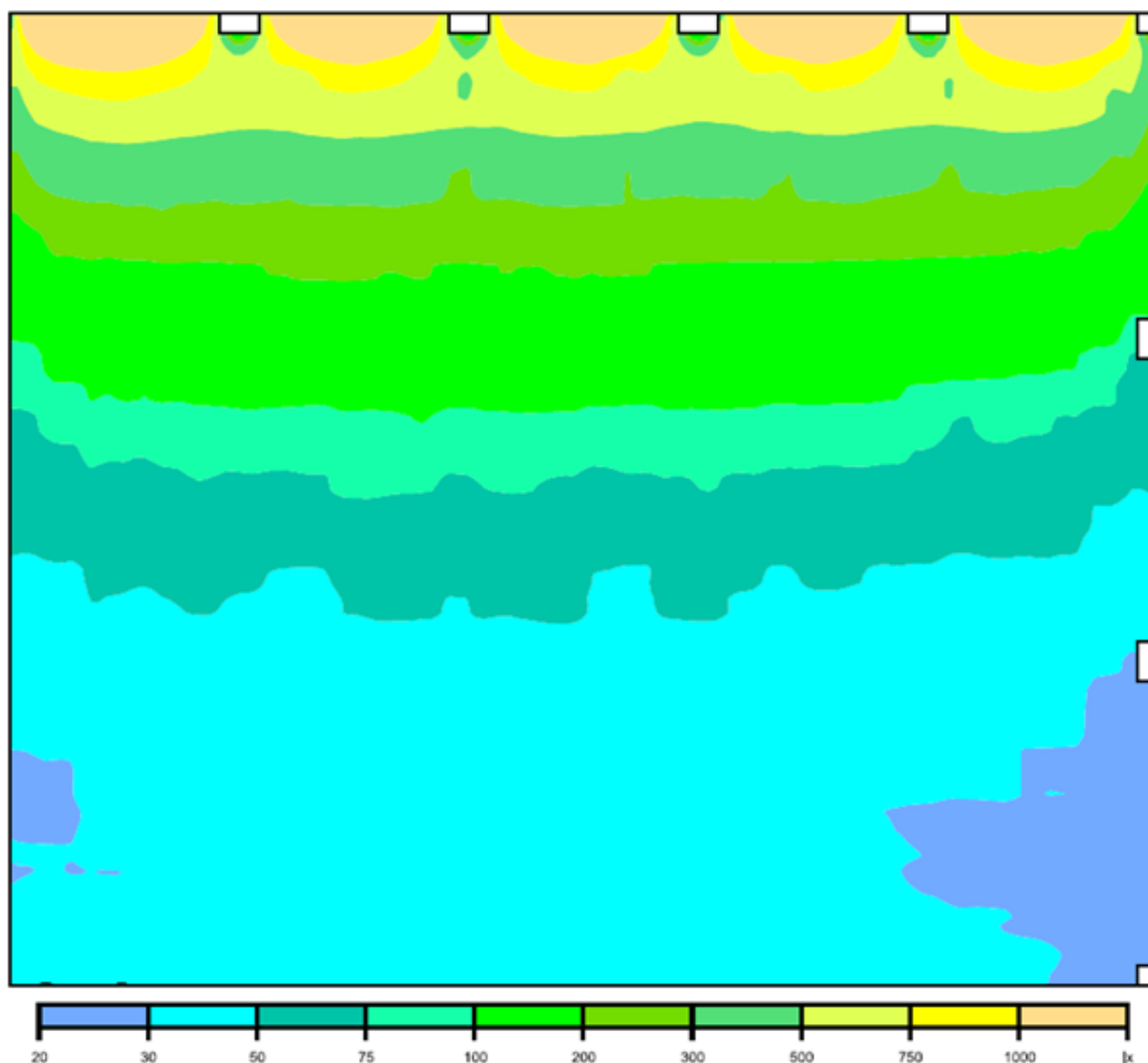


Fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

Após realização das simulações, verificamos os resultados de iluminância média no ambiente, considerando nesse momento somente a luz natural. Observe na figura 6, uma grande incidência de luz natural, proveniente das aberturas da sala de aula, chegando a mais de 1000 lux. Essa iluminância vai diminuindo ao afastar-se das aberturas, chegando a 20 lux em alguns pontos, como mostra na figura 6, podemos considerar que esse ambiente tem pouca uniformidade, sendo necessária a utilização de luz artificial para suplementar a luz natural em alguns pontos.

Figura 06 – Gráfico de Iluminância, cores falsas (luz natural).

Cores falsas [lx]



Fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

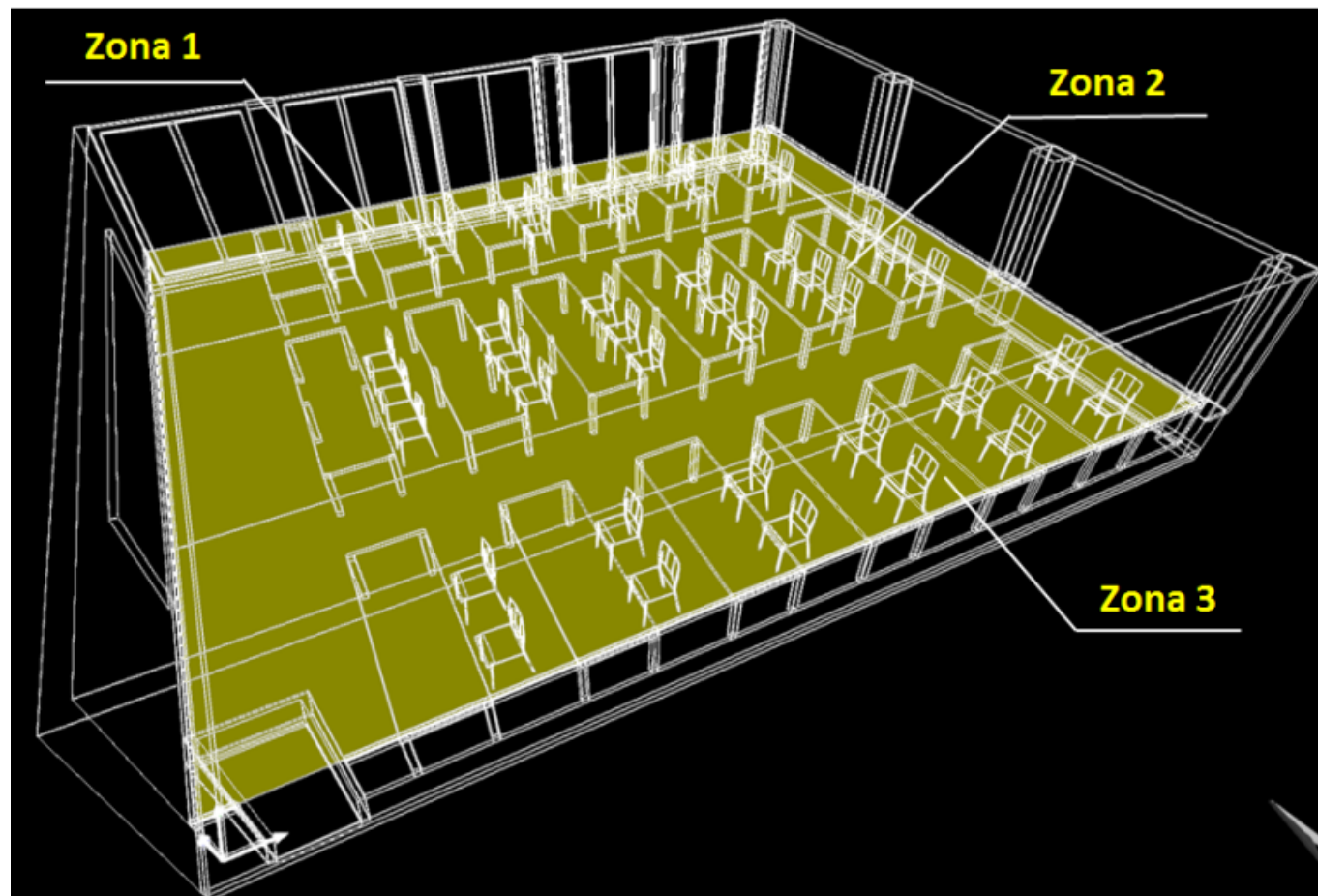
Conceito de zonas de iluminação, nessa etapa do estudo de caso é necessário definir a estratégia a ser utilizada para realização da simulação dinâmica do ambiente em questão, sendo necessário a criação de zonas de iluminação afim de analisar o comportamento da luz por zonas.

A partir da distribuição espacial da luz natural no ambiente interno, é possível identificar áreas cujas características de iluminação são semelhantes. De acordo com (Robbins, 1986), essas áreas são definidas como zonas de controle de iluminação integradas em um edifício. Propõe-se utilizar conjuntamente a luz natural e artificial para prover a iluminação geral ou de tarefa no ambiente, assegurando assim melhores condições de conforto e potencializando a economia de energia.

Sendo assim, dividimos a sala em 3 zonas como mostra na figura 7, a primeira zona localiza, próxima das janelas da sala de aula, a segunda zona no meio da sala e a terceira zona no canto inferior da sala de aula.

Cada zona será analisada de forma individual para entendermos o fenômeno que ocorre em relação à iluminação.

Figura 07 - Divisão das zonas de iluminação



fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

Não existe um conjunto de regras para estabelecer as zonas de iluminação natural. Uma simples observação visual da distribuição dos níveis de luz natural poderia ser empregada para determinar as zonas de iluminação, a razão entre a iluminância máxima e a iluminância mínima deve ser sempre menor ou igual a 3:1, o que garante uma relação de contraste razoável. Esta recomendação pode variar de acordo com a acuidade da atividade visual realizada na zona, nunca sendo superior a 9:1.

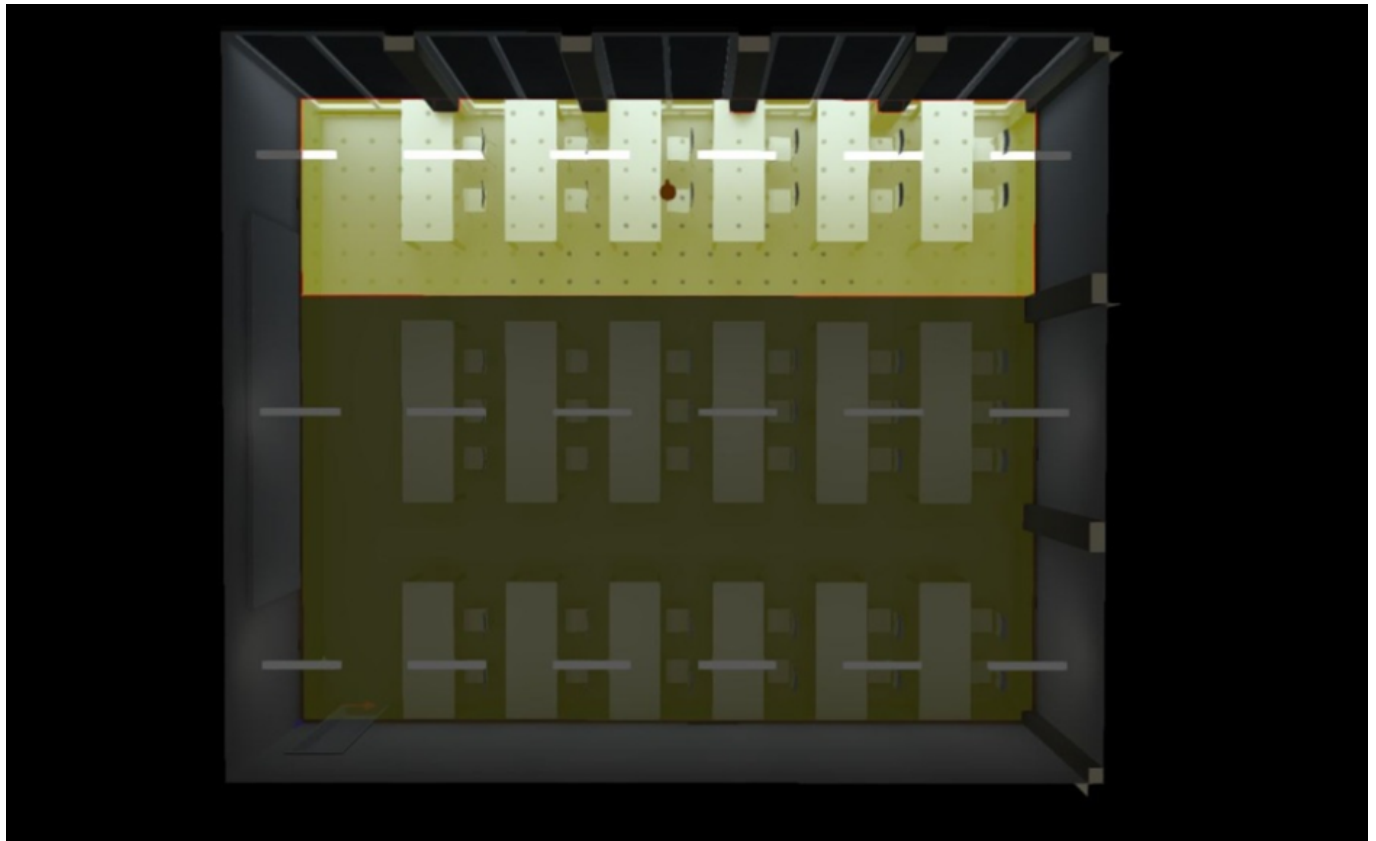
O procedimento proposto por (Souza, 2003), baseando-se em (Robbins, 1986), foi feito a partir de cálculos de iluminâncias para horário e dias específicos do ano. Novas formas de aplicar o conceito das zonas luminosas podem ser desenvolvidas utilizando simulações dinâmicas, o que permitiria a realização de uma análise anual da iluminação natural e artificial, considerando a variabilidade das duas fontes de luz - o sol e o céu - e suas interações com a geometria e as propriedades físicas do ambiente.

A partir da distribuição espacial da luz natural e dos níveis de iluminância requeridos para o estudo, foram propostas três zonas independentes: zona1, zona 2 e zona 3 (figura 07), cada grupo possui seis luminárias de embutir com duas lâmpadas fluorescentes de 32W, como mostra a (figura 08), e o tipo de

acionamento da luz artificial escolhido foi um sistema manual liga/desliga.

Foi analisada, cada zona de forma individual como mostra a figura 08, para obter-se os resultados individual por zona.

Figura 08 - Simulação Zona 1 (LUZ NATURAL)



Fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

Figura 09 – Gráfico de Iluminância da Zona 1

Grelha de valores [lx]

+1220	+1395	+832	+1215	+1313	+56	+1328	+1134	+927	+1327	+115	+1283	+1283
+776	+937	+702	+582	+826	+609	+840	+724	+674	+848	+642	+800	+784
+513	+612	+556	+553	+568	+522	+569	+534	+525	+563	+527	+553	+515
+358	+416	+412	+281	+408	+366	+405	+392	+394	+394	+386	+384	+346
+259	+293	+298	+298	+305	+288	+299	+293	+289	+290	+280	+278	+249
+193	+218	+227	+231	+233	+230	+231	+226	+223	+224	+217	+206	+186
+150	+169	+175	+180	+181	+182	+182	+179	+179	+177	+168	+159	+142

Fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

Conforme a figura 09 acima, percebemos que a maior incidência da luz natural e artificial, está concentrada nas proximidades das aberturas, causando assim um contraste lumínico e uma uniformidade muito baixa.

Figura 10 – Gráfico de Iluminância da Zona 2

Grelha de valores [lx]

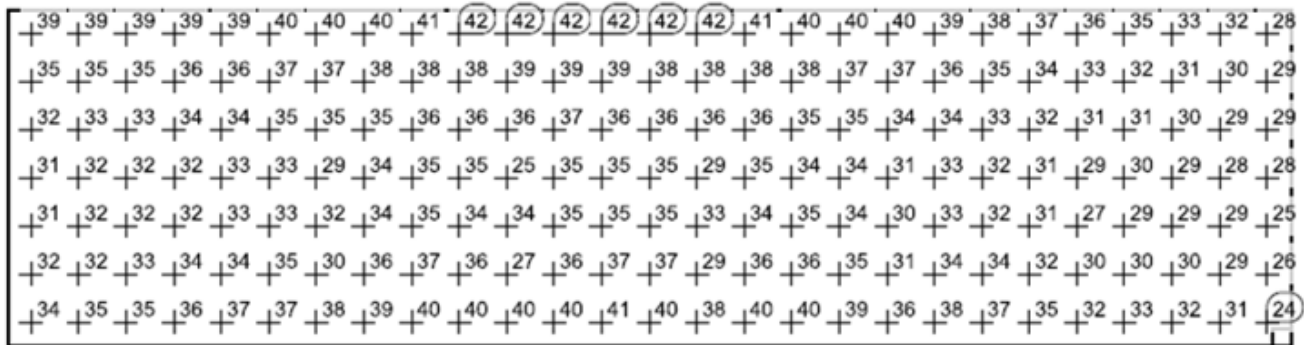
+123	+129	+132	+136	+139	+143	+145	+146	+145	+145	+145	+146	+145	+144	+143	+142	+142	+140	+136	+135	+130	+125	+118	+109	+92
+100	+104	+107	+109	+111	+115	+117	+117	+117	+119	+119	+117	+118	+117	+116	+116	+114	+114	+110	+107	+105	+99	+96	+88	+78
+84	+86	+88	+91	+92	+91	+85	+97	+97	+84	+97	+98	+96	+79	+96	+96	+85	+87	+91	+88	+53	+82	+78	+75	+65
+72	+73	+74	+75	+76	+76	+78	+80	+80	+80	+80	+81	+80	+79	+79	+79	+79	+75	+74	+74	+71	+67	+66	+64	+60
+61	+62	+63	+64	+65	+62	+59	+68	+69	+57	+67	+69	+67	+54	+68	+68	+60	+60	+63	+63	+41	+57	+56	+55	+48
+54	+54	+54	+55	+56	+56	+56	+58	+58	+56	+58	+60	+58	+54	+58	+58	+57	+54	+54	+53	+41	+49	+49	+48	+47
+48	+48	+48	+48	+49	+46	+45	+51	+51	+49	+50	+51	+50	+46	+51	+50	+45	+45	+47	+47	+39	+42	+43	+42	+37
+43	+43	+42	+43	+43	+43	+44	+45	+45	+46	+46	+46	+46	+45	+45	+45	+44	+42	+42	+41	+40	+38	+37	+36	+30

Fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

Conforme figura 10, acima, percebemos uma maior uniformidade, porém a iluminância está muito abaixo do recomendado pela norma NRB8995.

Figura 11 – Gráfico de Iluminância da Zona 3

Grelha de valores [lx]

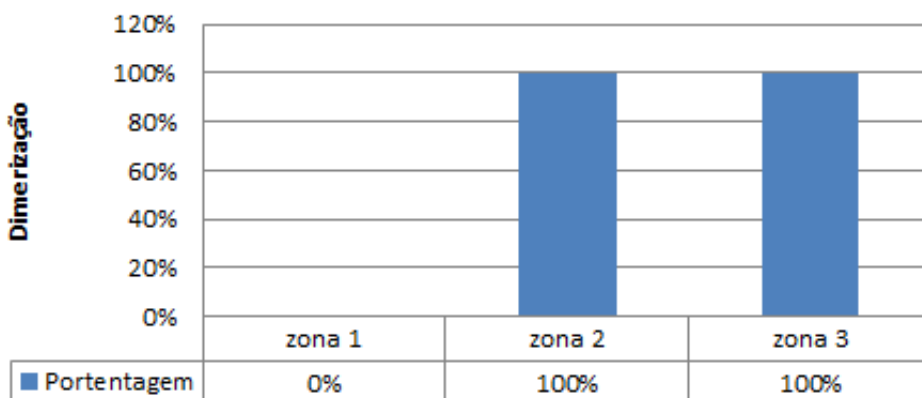


Fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

Conforme a figura 11, acima, a iluminância está muito abaixo do recomentado pela norma chegando ao pronto mais escuro à 24 lux.

Figura 12 - gráfico de dimerização por zona

Dimerização por zona (Luz Artificial)

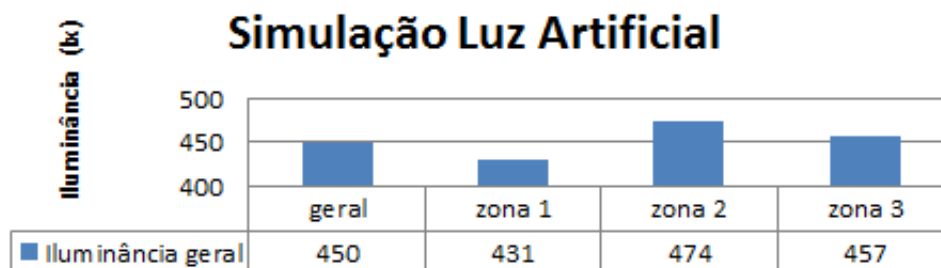


autor, 2018

fonte: Acervo pessoal do

Conforme análise, percebemos que existe uma grande incidência de luz natural na zona 1, o que possibilita o desligamento das luminárias nessa zona específica, sendo assim optamos pelo desligamento do conjunto de luminárias nessa zona, sou seja a dimerização da zona 1 será igual a 0% conforme (figura 12), acima.

Figura 13 - Gráfico iluminância média (luz artificial)



fonte: Acervo pessoal do

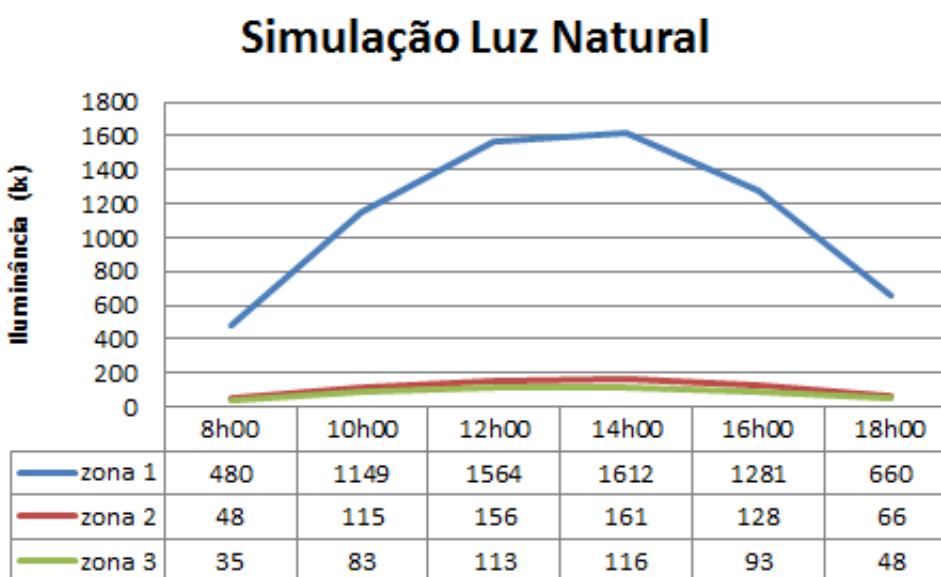
autor, 2018

O gráfico acima demonstra a iluminância média da sala e a iluminância por zonas, levando em consideração apenas a iluminação artificial, percebemos que a iluminância média da sala, inclusive cada zona está abaixo da recomendação da norma NRB8995.

^[5] Simulação dinâmica, a simulação dinâmica realizada tem como referência a metodologia de Simulação Dinâmica de Reinhart (Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Design, C.F. Reinhart), que se caracteriza pela utilização de arquivos climáticos como base de dados. Foram consideradas as refletâncias, tendo como referencia o ambiente real por meio de fotos. O modelo foi desenvolvido por meio dos softwares de cálculo e modelagem Dialux Evo 8.1 e o Plug-in Diva do Rhinoceros. Para a simulação da iluminação artificial, foram considerados 18 luminárias de sobrepor para duas lâmpadas T8 de 32W, o arquivo IES utilizado nas simulações pertence a empresa Lumicenter.

Foram realizadas, simulações da luz natural e artificial em todos os meses do ano, para obtenção da iluminância média mensal, em horário comercial, por zona. A primeira simulação foi realizada no período de 01 a 31 de janeiro de 2018, os resultados foram divididos em 3 gráficos: simulação luz natural – figura 14, simulação luz natural e artificial – figura 15 e iluminância média geral – figura 16.

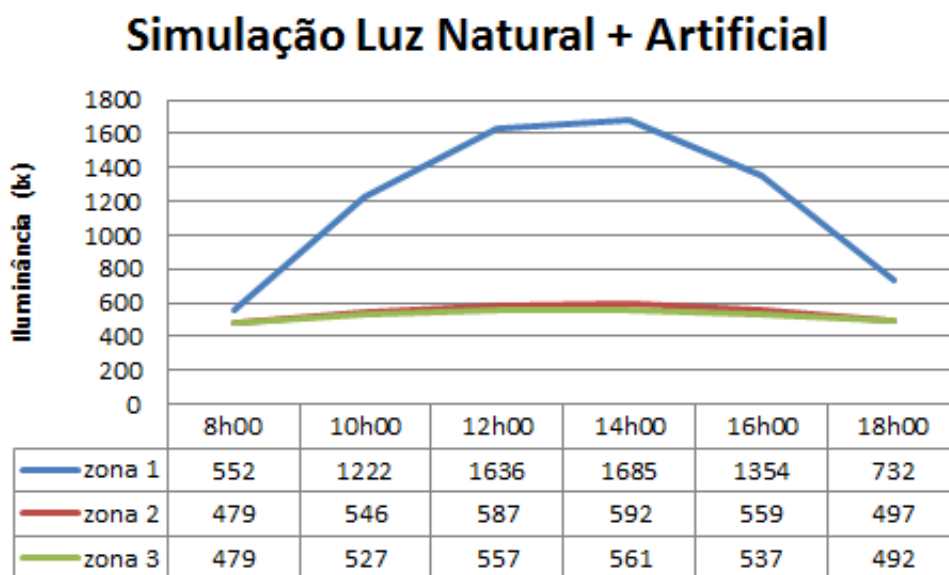
Figura 14 – Resultados da iluminância média por zona em horário comercial.



Fonte: Acervo do autor

2018

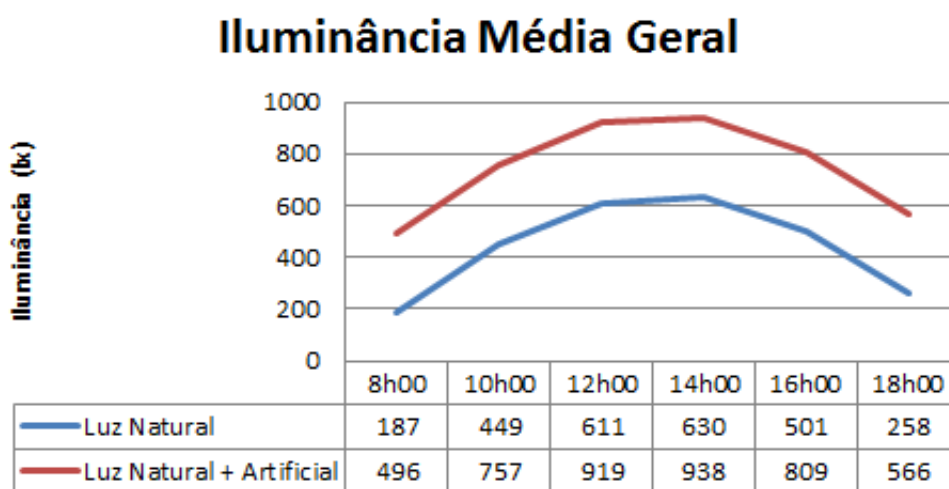
Figura 15 – Resultados da iluminância média por zona em horário comercial.



Fonte: Acervo do autor

2018

Figura 16 – Resultados da iluminância média geral em horário comercial.

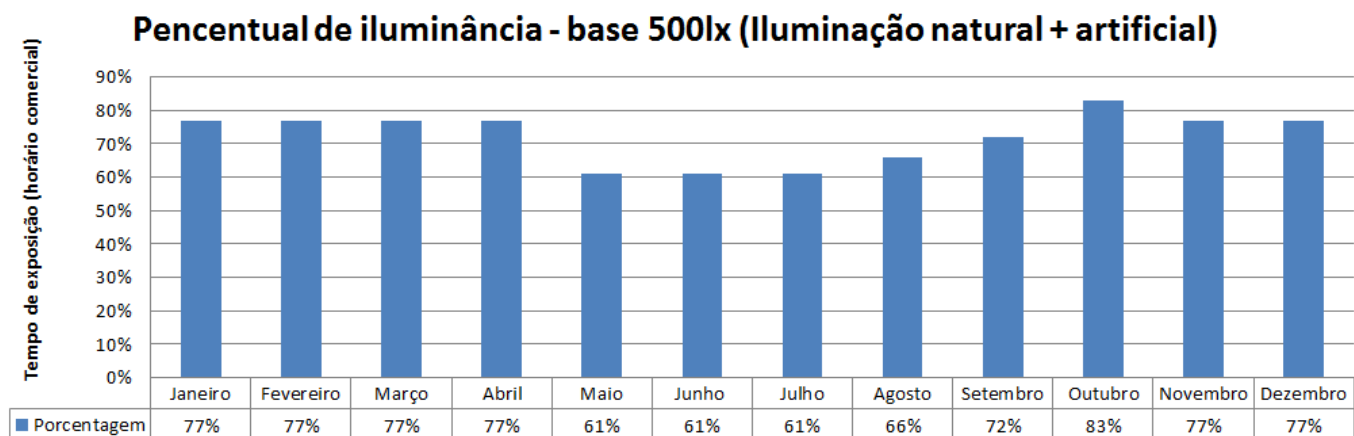


Fonte: Acervo do autor

2018

Descobrimos que em 77% do tempo (horário comercial) no mês de janeiro, a iluminância média por zona atende a norma ^[6]NRB8995. Utilizamos a mesma metodologia para simular o período restante de fevereiro a dezembro, conforme resultados – figura 17, abaixo.

Figura 17 - Percentual de iluminância anual (iluminação natural + artificial)



fonte: Acervo pessoal do autor, 2018

CONCLUSÃO PARCIAL DA ANÁLISE:

A questão da redução do consumo de energia nos edifícios de ensino está diretamente relacionada ao uso consciente da luz, entre outros aspectos. O projeto de iluminação tem ação direta sobre o impacto do uso da energia elétrica e consequentemente a eficiência energética do edifício. De acordo com o estudo de caso apresentando, concluímos de forma parcial que na maior parte do tempo a luz natural não atende a norma ABNT 8995-1 que recomenda 500 lux para uma salas de aula, a utilização luz natural de forma individual, cria uma grande incidência de iluminância nas proximidades das aberturas, criando uma baixa uniformidade de luz, sendo necessário suplementar a luz natal com a iluminação artificial.

O sistema de iluminação artificial integrado à automação tem o objetivo de suplementar as oscilações no nível de iluminação natural no projeto arquitetônico, mantendo constante o nível de iluminância prescrito para cada ambiente. No projeto integrado, percebemos que na maior parte do tempo 77% (horário comercial) a iluminância atende a recomendação da norma, os piores meses são: maio, junho, julho e agosto chegando a 61%. O mês de outubro é o melhor mês, chegando a 83%.

Segundo análise, em alguns pontos onde a iluminância é maior que 500 lux, o sistema de controle da automação poderá dimerizar as fontes de luz para que haja um nível constante de iluminância, seguindo as variações do comportamento da luz natural, garantindo uma redução do consumo de energia, diminuição da carga térmica no ambiente e um maior conforto visual por meio do controle do ofuscamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOLOTI, Dimas. **Iluminação natural em projetos de escola: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia**. 2007. 150p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CHRISTAKOU, E. D. **A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura**. 2004. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2004.

GHISI, E.; TINKER, J. A. **An ideal window area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings.** Building and Environment, v. 40, n. 1, p 51-60, jan. 2005

GHISI, E; TINKER, J. A. **Potencial de economia de energia em iluminação através da utilização de fibras ópticas.** In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: v 4, fasc. 3, 2004. p.61-77.

IESNA - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA RP-5-13, **Recommended Practice for Daylighting Buildings.** 1 ed. Nova Iorque, NY: Illuminating Engineering Society, 2013a.v. único, 75p.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA - IESNA. **The IESNA Lighting handbook.** 9. ed. New York, 2000.

JANNUZZI, G. M. **Uso Eficiente de Energia na Iluminação no Brasil.** In I CONFERÊNCIA PANAMERICANA DE ILUMINAÇÃO. São Paulo: Associação Brasileira da Iluminação. 278 p. p. 74-82. 1992.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2 ed. rev. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo: PW, 1997.

LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY - LANL - **Site and Project Planning Group, PM-1, Site Planning and Construction Committee.** Sustainable Design Guide. Cap.5 - Lighting, HVAC, and Plumbing, 2002.

NBR 15215-2: **Iluminação Natural** - Parte 2: procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005b

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

NICKOLAS, Michael H., BAILEY, Gary B. **Energy performance of daylight schools in North Carolina.** Raleigh, Carolina do Norte: Innovative Design, 2002.

RENNHACKKAMP, W.M.H. **Sholl Lighting: technical report by the National Building Research Institute on an aspect of school buildings research.** Pretoria, South African Council for Scientific and Industrial Research, 1964. 47 p.

ROBBINS, C. L. **Daylighting: Design and Analysis.** New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

SCARAZZATO, Paulo Sérgio, ASSIS, Eleonora Sad de, Souza, Roberta V.G., ROMERO, Marcelo. **Dynamic of daylight in tropical humid climates and its influence on indoor environment** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDOOR AIR QUALITY AND CLIMATE, 7., 1996, Nagoya. Proceedings... 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. 1996. v.1. p.925-930.

SOUZA, M.B. **Potencialidade de aproveitamento da luz natural através da utilização de sistemas automáticos de controle para economia de energia elétrica.** 2003 Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.

TOLEDO, Beatriz Guimarães. **Integração de iluminação natural e artificial: método e guia prático para projeto luminotécnico.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília, 2008.

YIN, Roberto K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2ª Ed. Porto Alegre. Editora: Bookmam. 2001.

1. Modelagem: Representação da forma tridimensional, criando-se zonas de luz e sombra, para se obter efeito de iluminação.
2. Dialux Evo 8.1: Software de cálculo de iluminação, representação gráfica de efeitos de luz e simulação de luz natural e artificial.
3. Simulação Dinâmica: Simulação do comportamento da luz natural, de acordo com a posição do sol, abóboda celeste e condições atmosféricas, para um determinado período do ano ou data.
4. NORMA NBR8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho: recomenda 500lux para Salas de Aula

^[1] Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Presbiteriana Mackenzie; Especialista em iluminação e design de interiores pelo Instituto de Pós Graduação – IPOG e Arquiteto e Urbanista graduado pela Universidade Nove de Julho, Professor e Arquiteto.

^[2] Professora Dra., Associada Plena da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, com ênfase em Projeto de Arquitetura e Urbanismo, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento urbano, desenvolvimento sustentável, ambiente construído e impacto ambiental, gestão ambiental e meio ambiente.

Enviado: Fevereiro, 2019

Aprovado: Março, 2019

PUBLIQUE SEU ARTIGO CIENTÍFICO EM:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/enviar-artigo-cientifico-para-submissao>