

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Especialização em Sustentabilidade em cidades, edificações e produtos

Jessica Ventura Pereira de Castro

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO DE UMA SALA COMERCIAL COM
FACHADA DUPLA POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Belo Horizonte

2021

Jessica Ventura Pereira de Castro

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO DE UMA SALA COMERCIAL COM
FACHADA DUPLA POR MEIO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade em cidades, edificações e produtos.

Orientador: Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Coorientador: Karla Jorge Abrahao

Belo Horizonte

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

C355a

Castro, Jessica Ventura Pereira.

Avaliação do desempenho luminoso de uma sala comercial com fachada dupla por meio de simulação computacional [manuscrito] / Jessica Ventura Pereira de Castro. - 2021.

33 f. : il.

Orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza.

Coorientadora: Karla Jorge Abrahão.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (31) 3409-8823

FAX (31) 3409-8822

ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA *JESSICA VENTURA PEREIRA DE CASTRO*, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS

Às 10:00 horas do dia 12 de fevereiro de 2021, reuniu-se *online*, a Comissão Examinadora composta pela Professora Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza, Orientadora-Presidente e pela arquiteta Dra. Karla Cristina de Freitas Jorge Abrahão, designadas pela Comissão Coordenadora do Curso para avaliação da monografia intitulada "Avaliação do desempenho lumínico de uma sala comercial com fachada dupla por meio de simulação computacional" de autoria de Jéssica Ventura Pereira de Castro, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso e recomenda que sejam encaminhados 02 (dois) exemplares para a Biblioteca da Escola de Arquitetura.

Nota: 100 ; Conceito: A

Belo Horizonte, 12 de fevereiro de 2021.

Professora, Dra. Roberta Vieira Gonçalves de Souza
Orientadora-Presidente

Dra. Karla Cristina de Freitas Jorge Abrahão

RESUMO

Atualmente, o setor da construção civil é responsável por mais de um terço do consumo global de energia final e quase 40% das emissões totais de CO₂ e o surgimento de uma preocupação global com o consumo de energia fez com que a busca por estratégias energéticas mais eficientes aumentasse rapidamente. Diante desse contexto, nas últimas décadas, houve um crescente interesse pelo uso de fachadas duplas nas edificações como alternativa para melhorar o conforto ambiental dos usuários e diminuir o consumo de energia elétrica. Diante de um número reduzido de estudos sobre a influência de fachadas duplas na iluminação interna de edifícios no cenário nacional, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho luminoso em uma sala de modelo de edifício de escritórios, para a cidade de São Paulo. Considerou-se como configurações de estudo o uso de fachada dupla e fachada de vidro simples, ambas com janelas com e sem peitoril. As simulações de luz natural foram baseadas em dados climáticos anuais, denominadas *Climate Based Dynamic Modelling*, e foram realizadas com o auxílio do software Rhinoceros e do plugin DIVA. Os resultados mostraram que utilização da fachada dupla na maior parte dos casos não prejudicou o desempenho luminoso dentro do ambiente considerado, podendo-se dizer até vantajosa em situações específicas. As conclusões do trabalho podem servir como guia e referência de como a fachada dupla influencia o desempenho da luz no ambiente construído, contribuindo assim, para as discussões sobre a temática que ainda é pouco abordada no campo científico. Estudos futuros podem englobar mais localizações, tipos de vidro, orientações e influência do entorno.

Palavras-chave: iluminação natural, simulação computacional, fachada dupla.

ABSTRACT

The building sector is responsible for more than a third of the global energy consumption and almost 40% of CO₂ emissions and the emergence of a global concern related to energy consumption has caused a search for more efficient energy strategies. Given this context, in the last decades, there has been a growing interest in the use of double facades in buildings as an alternative to improve the environmental comfort to users aiming the reduce of energy consumption. In view of the small number of studies about the influence of double facades on the internal daylighting of buildings in the national context, the aim of this work was to evaluate the illumination performance of an office space, for São Paulo. A double skin facade and a single glass facade were considered in the study both with and without windowsill. The simulations of natural light were carried out using Climate Based Dinamic Modeling, through the use of Rhinoceros software and DIVA plugin. The results showed that the use of the double skin façade in most cases did not impair the lighting performance within the considered environment and can even be said to be advantageous in specific situations. The conclusions of the work can serve as a guide and reference on how the double skin facade influences the daylight performance in the built environment, thus contributing to the discussions on the theme that is still little addressed in the scientific field. Future studies may include more locations, surroundings analysis, facade orientation variations and other reflectance and transmissivity indices.

Keywords: daylight, computer simulation, double skin façade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVO	9
3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	9
3.1. FACHADA DUPLA	9
3.2. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA LUZ NOS EDIFÍCIOS	11
4. METODOLOGIA	17
4.1. APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	17
4.2. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO.....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
6. CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU), órgão reconhecido na promoção do desenvolvimento sustentável, dentre outros, criou os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) a serem cumpridos até 2030. Dentre os 17 objetivos promovidos, o objetivo 07 indica que as nações devem garantir acesso à energia sustentável e confiável para todos (COMMITTEE ON SUSTAINABLE ENERGY OF THE ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, 2019).

Sendo responsável por mais de um terço do consumo global de energia final e quase 40% das emissões diretas e indiretas totais de CO₂(IEA, 2020), o setor de construção civil tem um importante papel no consumo energético mundial. Considerando que as emissões e a demanda de energia no setor continuam aumentando globalmente, tornam-se importantes ações que proporcionem um ambiente construído com baixo teor de carbono, sustentável e energeticamente eficiente (IEA, 2019). Diante desse contexto, os edifícios tornam-se peças centrais para enfrentar o desafio da sustentabilidade, uma vez que seu alto desempenho energético ajuda a cumprir muitos dos ODS estabelecidos pela ONU (UN, 2019).

A partir de um crescimento da consciência global sobre os preceitos de conforto ambiental e eficiência energética em edificações, sistemas e aspectos técnicos de edificações vem passando por processos de aprimoramento e aprofundamento de seus detalhes, trazendo benefícios para o mercado de construção através da implantação de edifícios mais eficientes energeticamente e ambientalmente (IBAM, 2012).

De acordo com Guia para sustentabilidade (CIBSE, 2020), o controle da iluminação natural é um dos elementos que colaboram para a sustentabilidade em edifícios, ao contribuir para a redução do consumo de energia elétrica pela iluminação artificial e melhorar a aparência do espaço e ambiente visual. É importante considerar o poder e a influência da luz solar na saúde, bem-estar e desempenho cognitivo dos indivíduos. A luz natural é crucial para a regulação dos ciclos circadianos, dos padrões de sono, para as funções corporais e bem-estar emocional e mental (CIBSE, 2020). Aries, Aarts e Van Hoof (2013), por exemplo, têm associado a influência da luz natural com o menor absenteísmo, redução de fadiga, alívio do transtorno afetivo sazonal, diminuição de sintomas depressivos, impactos positivos

nos distúrbios comportamentais provenientes da doença de Alzheimer, dentre outras vantagens para os seres humanos.

Nas últimas décadas, o uso do vidro na envoltória dos edifícios vem intensificando, tendo como resultado direto a construção de vários edifícios transparentes (PARIAFSAI, 2016). Esse crescimento pode ser explicado pelas importantes funções que as janelas apresentam nas edificações, que fornecem ventilação, iluminação natural, ganho de calor solar e contato visual com o exterior (AGUILAR-SANTANA *et al.*, 2020). Entretanto, ao se tratar da luz em edifícios modernos, uma boa iluminação se baseia em buscar o equilíbrio entre a necessidade de acesso suficiente à luz do sol diurna e a necessidade de controlar seus efeitos indesejáveis. Tal equilíbrio permite a criação de um ambiente visual agradável que estimula o desempenho individual (CIBSE, 2014).

De maneira paralela, o surgimento da preocupação da população com o consumo de energia elétrica fez crescer a busca por estratégias mais eficientes para os edifícios (AHMED *et al.*, 2016) e dentro desse contexto, o uso de fachadas duplas nas edificações cresceu ao longo dos anos, já que o sistema (quando corretamente aplicado) se mostrou capaz de aumentar o conforto ambiental dos usuários e diminuir o consumo de energia elétrica no uso de climatização artificial dos ambientes internos (SAFER *et al.*, 2005).

Embora atualmente haja várias pesquisas que estudam sobre o desempenho do sistema de fachada dupla em edifícios, há ainda poucos estudos que avaliaram a incidência de iluminação natural em edifícios com esse sistema. Em grande parte das pesquisas que abordam tal tema, tem-se predominância de estudos que analisam os efeitos térmicos e energéticos de modelos com uso de fachada dupla, sendo a luz natural abordada de maneira indireta, o que pode levar a resultados e avaliações limitadas (AKSAMIKKA, 2018). Portanto, uma abordagem focada nos impactos das fachadas duplas na iluminação interna das edificações, evidencia a atualidade e relevância do tema.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho luminoso em uma sala comercial de um edifício com fachada dupla, através de simulações computacionais, colaborando com o tema de estudo.

3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

3.1. FACHADA DUPLA

O conceito de fachada dupla foi introduzido no início de 1990 (POMPONI; IP; PIROOZ FAR, 2013; apud AHMED *et. al*, 2016). De acordo com Ahmed et al. (2016) existem várias definições sobre o sistema de fachada dupla. O Quadro 01 apresenta algumas caracterizações de fachada dupla utilizadas na literatura:

Quadro01 – Caracterizações de fachada dupla presentes na literatura

Referência	Caracterização
DING; HASEMI; YAMADA, 2005	Fachada dupla é composta por uma fachada externa, um espaço intermediário e uma fachada interna. A camada externa da fachada, envidraçada, oferece proteção contra intempéries e traz melhorias no isolamento acústico contra ruídos externos. Geralmente, um dispositivo de proteção solar ajustável, como persianas, pode ser instalado no espaço intermediário, protegendo os ambientes internos da alta carga térmica causada pelo isolamento.
BADINELLI, 2009	Um sistema de fachada dupla consiste em uma separação do envidraçamento externo distanciado do envidraçamento interno, geralmente com um sistema de sombreamento controlável localizado na cavidade entre os dois sistemas de fachada envidraçada. Normalmente, o vidro externo é uma única camada de vidro laminado, enquanto a camada interna consiste em um painel de vidro simples ou duplo, com ou sem janelas operáveis.
CHAN ET AL., 2009	Fachada dupla refere-se a uma fachada de edifício que cobre um ou vários andares com várias camadas de vidro. As películas de vidro podem ser herméticas ou ventiladas naturalmente / mecanicamente. A película externa é geralmente composta por um vidro único e pode ser totalmente envidraçada. A pele interna pode ser um vidro duplo isolante e não é completamente envidraçada na maioria das aplicações. A largura da cavidade de ar entre as duas películas pode variar de 0,2 m a mais de 2 m. Uma fachada dupla hermética pode fornecer maior isolamento térmico para o edifício, de modo a reduzir a perda de calor no inverno. Por outro lado, a movimentação do ar da cavidade dentro de uma fachada dupla, pode absorver a energia térmica do vidro iluminada pelo sol e reduzir o ganho de calor, bem como a demanda de resfriamento de

| um edifício.

Assim, mesmo que cada autor caracterize o sistema de fachada dupla usando termos levemente distintos, é possível perceber que, em um contexto geral, há um consenso de definição, representando o mesmo tipo de sistema: a de que a fachada dupla consiste em uma fachada simples, uma cavidade de ar e uma segunda fachada adicional externa envidraçada. Além disso, é comum também inserir um sistema de sombreamento dentro da cavidade intermediária entre as duas fachadas.

Originalmente concebida no final dos anos 70 e início dos anos 80, as fachadas duplas ou fachadas ventiladas foram desenvolvidas, inicialmente, para edifícios de baixo consumo de energia na Europa. Com o passar dos anos, entretanto, a eficiência energética e o conforto térmico deixaram de ser considerados uma questão exclusiva para os climas nórdicos (SAELENS, 2002). A partir de então, estudos passaram a recomendar a aplicação de fachadas duplas a fim de reduzir os ganhos de calor e consumo energético da edificação (AHMED *et. al*, 2016). Em outras palavras, passou a ser considerada uma tecnologia capaz de promover a eficiência energética da edificação em diversos tipos de clima. Isso porque a fachada dupla pode apresentar função de aquecimento ou resfriamento do ambiente, através dos fechamentos ou aberturas das extremidades das cavidades intermediárias.

O resfriamento e a redução dos ganhos de calor são obtidos através do fenômeno da chaminé térmica, que ocorre devido à diferença de densidade entre o ar mais quente dentro da cavidade e o ar mais frio do lado de fora. Assim, o ar dentro da cavidade é aquecido pela radiação solar e expelido para o exterior através do topo da cavidade. Vale considerar que em edifícios com ventilação natural, o ar fresco é frequentemente aspirado das janelas localizadas ao lado oposto da fachada dupla, passando pelo espaço/ ambiente ocupado, para que então seja extraído para a cavidade do sistema (RADHI, SHARPLES, FIKIRY, 2013).

No que diz respeito à redução do consumo de energia, a fachada dupla é capaz de mitigar o impacto das condições climáticas e ambientais prevalentes no interior de um edifício, possibilitando ainda, em alguns casos, a eliminação da necessidade de condicionamento artificial do ar (AHMED *et. al*, 2016).

Outros benefícios além da redução de ganhos térmicos excessivos no interior dos ambientes e da capacidade de economizar energia, o sistema permite a entrada de iluminação natural dentro dos edifícios (AHMED *et. al*, 2016). Embora as características da fachada dupla pode ser um fator de influência no desempenho luminoso nos ambientes internos ao utilizar esse sistema, poucos estudos levam em consideração o fator luz durante as análises do desempenho do mesmo.

Entre os artigos encontrados na literatura, Aksamija (2018) explorou o desempenho térmico, energético luminoso de três tipologias de fachadas duplas em quinze zonas climáticas diferentes. O objetivo do autor foi investigar os impactos das características da fachada dupla na iluminação natural dos ambientes internos, especificamente quanto à orientação e à profundidade da cavidade do ar. Seus resultados indicaram que todos os tipos de fachadas duplas diminuíram os níveis de iluminação natural em comparação com cortina de vidro convencional; mas que, no entanto, as diferenças entre os níveis de iluminação também dependem da orientação, profundidade da cavidade do ar, tipo de fachada e clima.

Shameri *et. al* (2013), por sua vez, avaliaram as características da luz diurna de 12 sistemas de fachada dupla existentes e expostos a diferentes climas. Os autores mencionam na pesquisa que os sistemas de fachada dupla analisados, foram aplicados em edifícios novos e renovados para aumentar o conforto humano e diminuir o consumo de energia. Como conclusão final, todos os modelos de fachada dupla falharam em justificar o requisito padrão de iluminação interna (75%) do espaço do escritório nos três valores implementados de iluminação.

Diante de poucas publicações encontradas sobre o tema, sugere-se que há uma escassez de trabalhos e estudos que relacionam o desempenho luminoso em edifícios que apresentam sistemas de fachada dupla. Essa constatação foi um dos principais fatores que nortearam a escolha pelo tema de pesquisa desse trabalho, a fim de dar início às discussões sobre o problema.

3.2. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA LUZ NOS EDIFÍCIOS

Na última década, estudos que avaliaram a iluminação natural dos edifícios com o intuito de melhorar o conforto visual dos ocupantes vêm ganhando destaque no campo científico (CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018). Essas análises podem

ser feitas por simulação computacional, sendo elas estáticas ou dinâmicas (DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

A simulação estática fornece resultados em forma de imagens fotorrealísticas e valores absolutos de iluminância ou a iluminância produzida por um céu de referência como o *Daylight Factor* (ou Fator de Luz Diurna, em português). Ao ser baseado em valores de iluminação que levam em consideração um único tipo de céu, esse tipo de simulação acaba gerando análises limitadas a respeito do desempenho de luz natural (DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

Ao contrário da abordagem de fator de luz diurna convencional, uma análise baseada em dados anuais de clima (em inglês, *Climate-Based Daylight Modelling*) emprega não apenas um céu mais realista, mas também prevê variáveis sazonais do tempo, condições do sol e níveis horários de iluminância absoluta da luz diurna. Em outras palavras, uma análise baseada no clima resulta em uma previsão de iluminância para cada hora do dia do ano, para cada ponto considerado (NABIL; MARDALJEVIC, 2006). As condições de localização geográfica, céu realista e ingresso de luz direta que as simulações dinâmicas oferecem, torna possível uma análise individual de cada orientação ou fachada do edifício por um longo período de tempo, que antes não seria contemplada pela simulação estática (CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018).

Para determinar quais ferramentas de simulação computacional estavam sendo usadas com mais frequência por arquitetos nas análises de desempenho da luz natural nos projetos de edificações, o trabalho de Panitz e Hansen (2013), intitulado "*Daylighting Design and Simulation: Ease of use analysis of digital tools for architects*", serviu como base para um entendimento geral do assunto. O Quadro 02 a seguir mostra alguns aspectos considerados importantes de cada software mencionado pelos autores.

Quadro 02 – Software de simulação de luz natural e suas características

Programa	Programas de Interface	Modelos de céu	Notas
3dsMax	Complexa	Encoberto Claro Perez	Os dados brutos precisam ser calculados através do Excel planilhas. Métodos de comunicação exclusivos

			disponíveis por meio de ferramentas de animação no 3ds Max.
Ecotect	Simple	Encoberto uniforme	Os dados importados requerem verificação de erros. Muitas vezes, grandes partes do modelo precisam ser redesenhadas ou “traçadas” para preencher as superfícies ausentes.
Radiance	Simple dentro do Ecotect. Complexo sozinho.	Ensolarado com sol Ensolarado sem sol Intermediário c / sol Intermediário sem sol Céu nublado Céu Uniforme	Versões mais recentes de Radiance não são compatíveis com Ecotect. A própria interface do Radiance é limitada. O Método manual requer experiência com linguagem de codificação.
Daysim	Simple dentro do Ecotect. Complexo sozinho.	Perez	Produz dados que podem ser retornados ao Ecotect para visualizar os resultados de forma eficaz.
DIVA	Simple	Céu claro com sol Céu claro sem sol Céu nublado com sol Céu nublado sem sol Uniforme Personalizado (Perez) Perez	O céu personalizado usando irradiância horizontal direta pode produzir erros. Interface clara e conjuntos de dados abrangentes de cálculos pontuais e dados climáticos.

Fonte: Adaptação de Panitz; Hansen (2013)

Para melhor compreender as principais características desses programas, vale citar o que outros autores descrevem sobre eles.

O Radiance é uma ferramenta de código aberto para visualizar a luz do dia e a luz artificial em ambientes virtuais (LARSON; SHAKESPEARE, 2014 *apud* SUN; WU; WILSON, 2018). O uso generalizado da ferramenta vem sendo dificultada pela complexidade do programa, levando um tempo considerável para dominar o software e dificultando a entrada efetiva de dados (SUN; WU; WILSON, 2018). De maneira a facilitar o manuseio do programa por seus usuários, outros softwares comerciais foram desenvolvidos tendo como base o mecanismo de simulação Radiance, como o Daysim, DIVA e o Ecotect.

Baseada no mecanismo de simulação Radiance e sendo uma versão modificada deste, o Daysim calcula todos os coeficientes de iluminação em uma única execução (AYOUB, 2019). O software modela a quantidade anual de luz do dia no interior e no entorno de edifícios, permitindo aos usuários modelar desde sistemas de fachadas dinâmicas, até elementos de redirecionamento de luz de última geração (MIT, 2020).

Sendo a evolução do Daysim, o DIVA é um plug-in de modelagem de luz natural e energia altamente otimizado para o programa Rhinoceros– software de modelagem NURBS (MIT, 2020). O software integra as simulações de luz do dia com detalhados cronogramas de iluminação, cálculos de energia térmica de várias zonas, mapas de radiação, análise de brilho e renderizações fotorrealísticas (AYOUB, 2019).

Já oEcotect é uma ferramenta adquirida pela Autodesk da Square OneResearch para simulação de desempenho de construção e visualização de dados meteorológicos (AYOUB, 2019), que permite fazer avaliações do desempenho luminoso, térmico e acústico (JOSÉ; CASTRO, 2011).

Por fim, o 3dsMax é comumente usado por arquitetos e designers de filmes ou jogos. Além de renderizações fotorrealísticas, o programa também produz valor de iluminância por hora e fatores de luz do dia em cada ponto de cálculo, o que torna os resultados adequados para análise quantitativa (SUN; WU; WILSON, 2018).

Em relação especificamente às simulações baseadas em dados climáticos, Panitz e Hansen (2013), revelaram que o Rhinoceros, como uma plataforma de modelagem, juntamente com o *plug-in* de análise de iluminação DIVA, fornece conjuntos de dados mais abrangentes ao calcular métricas de luz natural. Fundamentado e baseado no Daysim, o DIVA, assim como o Daysim, gera arquivos que contêm dados abrangentes a respeito dos valores de iluminância e classificação de brilho. Ao contrário do DIVA, o Daysim(como um *plug-in* doEcotect) requer importação manual para se criar dados visuais.

Embora seja possível para o software 3dsMax / Radiance produzir com facilidade dados pontuais, a análise baseada no clima requer um método mais demorado e detalhado, a partir da entrada de dados de iluminância por meio de análise de dados de planilha. Este mesmo método pode ser feito através do 3dsMax, porém a vantagem do Daysim, DIVA e Ecotect, é que isso pode ser feito de forma mais simples através de suas respectivas interfaces (PANITZ; HANSEN, 2013).

Ao discutir sobre o desempenho luminoso de uma edificação, estudos de revisão bibliográfica mencionam o *DaylightAutonomy* (DA), *SpatialDaylightAutonomy*(sDA), *Annual SunlightExposure* (ASE) e *UsefulDaylightAutonomy* (UDI) como os parâmetros mais comuns de serem utilizados em avaliações dinâmicas de iluminação natural (CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018).

Originado em 1989 e proveniente de uma norma da *Internacional Association Suisses des Electriciens*, a *Daylight Autonomy* (DA) é definida como uma métrica que fornece uma porcentagem das horas ocupadas por ano (ou frequência ao longo do ano) nas quais um determinado nível de iluminância é alcançado apenas através da iluminação natural (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

De acordo com o protocolo LM-83 (IES, 2012), um método aprovado pela IES – Engineering Illuminating Society sobre métricas de iluminação natural, o *Spatial Daylight Autonomy* (sDA) é uma medida de suficiência de iluminância da luz diurna para uma determinada área, destacando a porcentagem da área do piso que excede um nível de iluminância especificado (por exemplo, 300 lux) para uma quantidade especificada de horas anuais (por exemplo, 50% das horas compreendidas entre 8h às 18h). A fim de exemplificar: sendo sua sigla representada por sDA300/50%, seria equivalente a dizer que os pontos (ou áreas) que tenham pelo menos 300lux na metade do tempo de análise (50%), serão contabilizados como cumprindo o objetivo.

O protocolo IES LM-83-12 também diz respeito à métrica *Annual Sunlight Exposure* (ASE). De acordo com o documento, tal métrica fornece uma segunda dimensão da análise da luz do dia, olhando para uma fonte potencial de desconforto visual: a luz solar direta. Vale ressaltar que tanto o *Spatial Daylight Autonomy* quanto o *Annual Sunlight Exposure*, usam as mesmas informações de construção e metodologia de simulação para analisar padrões de iluminação por hora, somados por um período anual, em uma área de análise. Assim, a fim de avaliar os projetos de construção, ambos devem ser observados em conjunto.

Proposto por Mardaljevic e Nabil em 2005, a *Useful Daylight Illuminance* (UDI) é uma medida dinâmica de desempenho da luz do dia baseada, também, em iluminâncias do plano de trabalho (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006). A métrica relaciona-se com a frequência da iluminância em um determinado tempo, porém, nesse caso, de acordo com faixas de iluminâncias preestabelecidas (DIDONÉ; PEREIRA, 2010). Através da UDI, é possível verificar qual porção do ambiente possui valores úteis para os ocupantes, isso é, nem muito baixos (100 lux), nem muito altos (2000 lux considerados à época) e compreender qual sua frequência anual, em porcentagem (NABIL; MARDALJEVIC, 2006). Assim, tendo como base

seus limites inferiores e superiores, a UDI resulta em três “submétricas”, ou seja, porcentagens de tempos ocupados durante o ano em que a UDI foi alcançada (100-2000 lux), quando ficou aquém (<100 lux) ou quando foi excedida (>2000 lux). Essa última destina-se a compreender os possíveis momentos em que um excesso de luz do dia pode levar a desconforto visual e / ou térmico (REINHART; MARDALJEVIC; ROGERS, 2006).

Falando sobre as faixas de iluminâncias preestabelecidas, inicialmente, a UDI determinava a faixa de 100 lux a 2000 lux como a faixa de iluminância capaz de propiciar um desempenho adequado. Porém, com base em estudos que estão sendo realizados em edifícios de escritórios em diferentes localizações geográficas, vêm sendo discutido sobre a mudança dos valores dessa faixa (CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018). De acordo com a pesquisa de Wymelenber (2014), foi comprovado que alguns indivíduos, durante algumas partes do ano, podem preferir valores altos como 5000 lux em seus locais de trabalho, o que acaba sendo uma justificativa da expansão da faixa do limite superior útil. Em contrapartida, o valor de 1000 lux é considerado um limite aceitável e “seguro”, uma vez que evita qualquer ameaça de ofuscamento e desconforto, além de ser um nível capaz de garantir um equilíbrio entre o desempenho luminoso e térmico da edificação (SHEN; TZEMPELIKOS, 2012).

Baseado nessas considerações que propõem mudanças, Mardaljevic *et al.* (2012) apresentaram uma revisão dos limites de UDI, estendendo a faixa de iluminância aceitável para 100 lux a 3.000 lux, onde:

- Faixas abaixo de 100 lux são chamadas de iluminância útil não atingida, *UDI'fell-short*;
- Faixa entre 100 lux e 300 lux são chamadas de iluminância útil a ser suplementada, *UDI Supplementary*, caracterizam-se pela possível necessidade de uso complementar de iluminação artificial para a realização de atividades (como a leitura);
- Faixa entre 300 lux e 3000 lux são chamadas de iluminância útil autônoma, *UDI Autonomous*, caracterizam-se pela baixa probabilidade de uso adicional de iluminação artificial;

- Faixas acima de 3000 lux são chamadas de iluminância útil excedida, *UDI exceeded*.

De acordo com Mardaljevic *et al.* (2012), o aumento do limite superior aceitável para a iluminância, passando de 2000 lux (conforme pregado por literaturas anteriores) para 3000 lux justifica-se por aspectos e questões que envolvem a saúde dos usuários, em que o autor afirma que, para a manutenção do ritmo circadiano, exposições regulares a altos níveis de iluminâncias durante o dia pode trazer benefícios à saúde humana. Essa incerteza na definição da faixa de valores toleráveis de iluminância, afirma mais uma vez o caráter subjetivo que estudos de desempenho luminoso apresentam (CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018).

O principal ponto que difere a *Daylight Autonomy* da *Useful Daylight Illuminance* diz respeito ao estabelecimento de limites superiores considerados aceitáveis. A DA não define esse limite, podendo ocasionar níveis elevados de iluminância que podem ser responsáveis por ofuscamentos, desconfortos visuais e até mesmo ganhos térmicos indesejáveis. A UDI por outro lado, estabelece esse limite aceitável, evitando tal problema. (CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018). Esse fato foi, inclusive, decisivo no momento de escolha da métrica que seria utilizada como foco para as análises de iluminação desse trabalho, que será descrito nos capítulos seguintes.

4. METODOLOGIA

4.1. APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Tomou-se como estudo de caso o projeto para o edifício da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA) por esta edificação apresentar projeto com fachada dupla. Desta forma, foram adotados do projeto a volumetria externa e as dimensões dos ambientes internos, conforme apresentado na Figuras 01 e 02.

Figura 01 – Esquema de edifício de aulas da UFCSPA

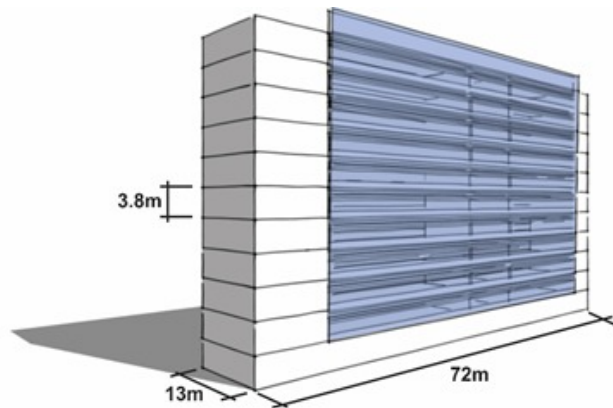
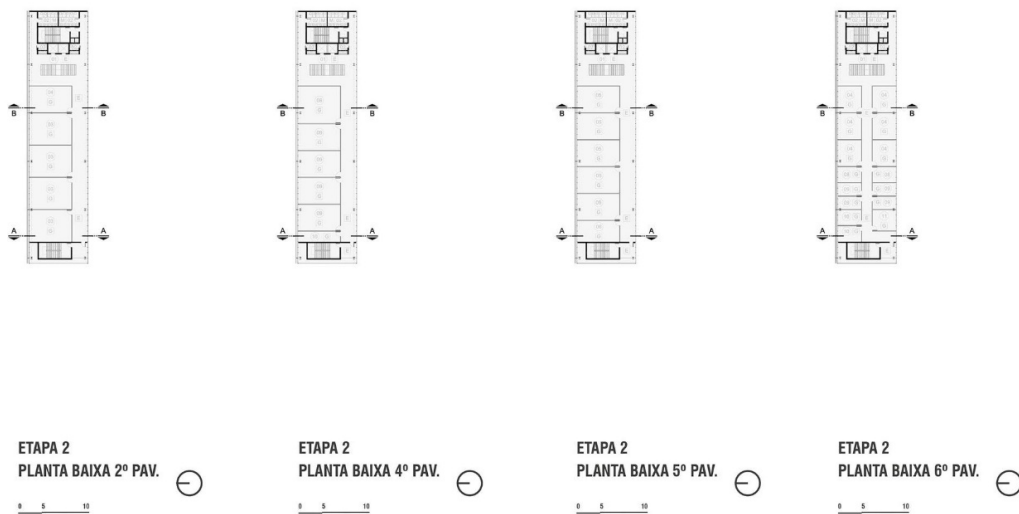


Figura 02 – Plantas Baixas do edifício da UFCSPA



Fonte: CONCURSOS DE PROJETO, 2014.

Para o modelo que seria utilizado nesse trabalho, algumas adaptações foram realizadas, a começar pela tipologia da edificação. O projeto foi criado como partedo novo campus Igara da UFCSPA. Para o presente trabalho, o projeto foi modificado a fim que fosse um edifício de escritórios, sendo assim, alternado para uma tipologia comercial.

Outra modificação realizada, foram as configurações internas referentes às medidas do peitoril das janelas das salas. Para se estudar o ambiente, e entender a influência

que as aberturas exercem na iluminação dos ambientes, foram considerados 4 casos distintos de abertura e fachada:

1. Edifício com fachada dupla + janela com peitoril
2. Edifício com fachada simples + janela com peitoril
3. Edifício com fachada dupla + janela sem peitoril
4. Edifício com fachada simples + janela sem peitoril

Na Tabela 01 estão os detalhes das medidas dos vãos de abertura das janelas para cada um dos 4 casos citados acima:

Tabela 01 – Configurações Vãos de Abertura

Configuração do modelo	Área do vão de abertura	Altura do Peitoril
Situação 01	4,80m x 1m	1,10m
Situação 02	4,80x 1m	1,10m
Situação 03	4,80m x 2,10m	-
Situação 04	4,80m x 2,10m	-

Vale ainda considerar que o projeto para o campus da UFCSPA conta com pavimentos com diferentes configurações, como mostrado na Figura 02. Para o presente trabalho, considerou-se apenas a planta baixa do 5º pavimento.

Além disso, apenas uma sala (a uma altura de 12m do solo) foi considerada nos estudos. O ambiente de escritório simulado possui 40m², com dimensões de 5m x 8m. Importante mencionar que, conforme apresentado na Figura 01, o pé-direito de cada pavimento corresponderia a 3,8m. Porém, interpretou-se que essa medida seria não considera acabamentos internos como forro ou piso elevado. Assim, para a sala estudada, foi adotado um pé-direito interno de 3m.

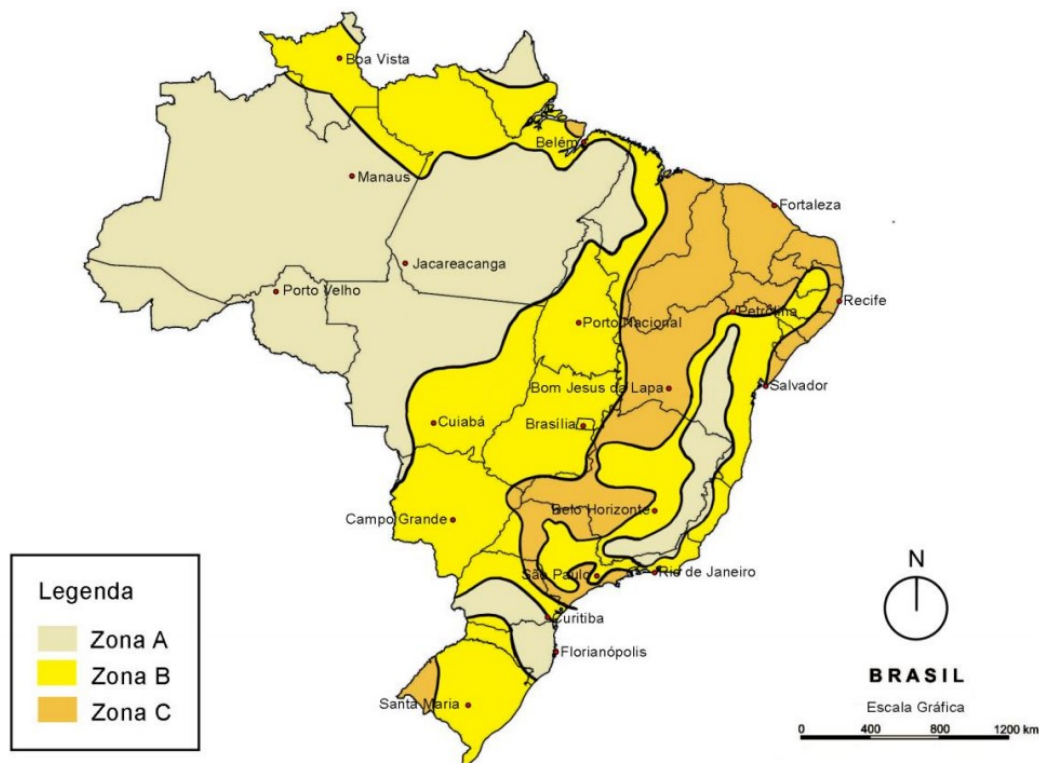
4.2. PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

A fim de se alcançar os objetivos desejados, foi utilizado um método numérico de simulação computacional de iluminação natural de um edifício de escritórios representativo, conforme mencionado no capítulo anterior, com posterior análise comparativa dos resultados.

Para a análise de desempenho luminoso da edificação selecionou-se a cidade de São Paulo. A partir da proposta de revisão da NBR 15.575, na área de iluminação natural, tem-se que São Paulo está localizada entre as latitudes 20°S e 34°S (faixa 03), faixa essa de maior densidade populacional do país.

Tem-se ainda que de acordo com o zoneamento proposto por Fonseca, Fernandes e Pereira (2017), a zona bioclimática luminosa em que São Paulo está inserida é a zona A, conforme demonstrado na Figura 3. A zona engloba municípios com uma média de menos de cinco horas de insolação diária, desde que a frequência de ocorrência de iluminância global horizontal seja maior para iluminâncias baixas (aproximadamente entre 1500 horas e 2500 horas), e menor para iluminâncias altas (aproximadamente entre 350 horas e 750 horas).

Figura 03 – Zoneamento bioclimático luminoso: mapa de horas de insolação média



Fonte: FONSECA; FERNANDES; PEREIRA, 2017.

Esses pontos se mostraram como justificativas interessantes no que tange a abrangência do trabalho.

Considerando que a cidade de São Paulo se localiza no hemisfério sul, fachadas orientadas para o norte recebem maior incidência solar ao longo do ano. Diante

disso, a fim de analisar a fachada que possui o número mais significativo de horas de incidência solar direta, orientou-se a mesma para o norte.

Inicialmente, foi realizada a modelagem do edifício no software Rhinoceros 6, para permitir a avaliação do desempenho luminoso da sala de escritório em questão. As simulações anuais de iluminação natural puderam então ser realizadas pelo mesmo software, através de *plug-in* DIVA.

Além do modelamento geométrico, foram inseridos dados de entrada referentes aos materiais aplicados no modelo de edifício e suas devidas refletâncias. A Tabela 01, apresenta os materiais adotados seguidos de suas refletâncias e coeficientes de transmissão retiradas dos trabalhos de CINTRA DO PRADO (1961) e MOREIRA (1982)

Tabela 02 – Materiais adotados e seus respectivos coeficientes de reflexão ou transmissão

Superfície do modelo	Material	Coeficiente de reflexão ou transmissão do material (%)
Piso térreo externo (rua)	Asfalto	7 (reflexão)
Vidros fachada dupla e janela	Vidro transparente	85 (transmissão)
Revestimento alvenaria externa	Pintura cor branca	90 (reflexão)
Revestimento paredes internas	Pintura cor marfim	74 (reflexão)
Revestimento piso interno	Madeira clara	13 (reflexão)
Portas	Madeira clara	13 (reflexão)
Revestimento do teto	Pintura cor branca	85 (reflexão)

Os sensores (virtuais) ou pontos nodais, para onde são calculados os valores de iluminância, foram posicionados nos centros de áreas de 0,25m x 0,25m, distribuídas matricialmente em um plano horizontal a 0,75m de altura (referente ao plano de trabalho geralmente adotado pelos escritórios). A distância entre os centros das áreas foi escolhida de modo estabelecer um número grande de pontos de estudo, a fim de obter uma boa precisão e sensibilidade em termos de porcentagem de luz no ambiente ao longo do tempo. Assim, para uma área de 40m², foram estabelecidos no total 640 pontos.

No que diz respeito aos parâmetros avançados de Radiance usados no DIVA, as configurações foram: *ambientbounces*: 4, *ambientdivision*: 1000, *ambientsampling*: 20, *ambientaccuracy*: 0,1, *andambientresolution*: 300.

De maneira a extrair as condições de céu e de insolação do local a ser simulado, utilizou-se a base de dados climáticos horários específicos, BRA_SP_Sao.Paulo-Congonhas.AP.837800_TMYx.2004-2018.epw. Além disso, considerou-se um período de ocupação do ambiente de 08:00 horas às 18:00 horas.

Uma vez que a métrica *DaylightAutonomy* (DA) não estabelece um limite superior de valor aceitável de iluminâncias, sendo sujeita à ocorrência de níveis elevados de iluminância que levam ao ofuscamento e ganhos térmicos indesejáveis (CAVALERI; CUNHA; GONÇALVES, 2018), optou-se pela utilização da *UsefulDaylightIlluminance* (UDI) como métrica complementar à DA para realizar as análises comparativas que serão discutidas posteriormente no Capítulo 5, adotando por sua vez as faixas de iluminâncias sugeridas na atualização do método proposta por Mardaljevic *et al.* (2012).

Uma vez definidos todos os parâmetros iniciais e dados de entrada, realizaram-se as simulações de cada uma das quatro diferentes configurações de fachadas e aberturas, voltadas para a orientação Norte, conforme descrito na seção 4.1. No total foram gerados 20 resultados, quatro resultados proveniente da DA (um resultado para cada um dos modelos). Como o estudo de caso se refere a um uso de escritório foi feita simulação para DA₅₀₀.

Para cada modelo simulado, foi adicionalmente analisado a métrica UDI referentes às faixa de iluminâncias de 0 a 100 lux (*UDI'fell-short*), de 100 lux a 300 lux (*UDISupplementary*), de 300 lux a 3000 lux (*UDI Autonomous*) e acima de 3000 lux (*UDI exceeded*), totalizando 16 resultados.

Considerando os resultados obtidos para a DA e UDI, duas formas de apresentação são geradas pelo software: imagens gráficas representando as distribuições de iluminância no plano de estudo e valores calculados pelo programa, registrados em arquivo texto. Neste trabalho, esses últimos foram importados em uma planilha eletrônica e tabulados para análise quantitativa dos dados. Em outras palavras, os dados inseridos na planilha eletrônica foram reorganizados com o intuito de conseguir quantificar os resultados e estabelecer as diferenças entre os cenários de estudo em termos da área que atende ao critério de iluminância estabelecido, UDI ou DA, por no mínimo 50% das horas do ano. Os resultados foram, portanto, sintetizados em uma tabela (Tabela 2 do Capítulo 5).

Por outro lado, as imagens gráficas geradas pelo software possibilitaram realizar uma avaliação qualitativa do desempenho luminoso para cada caso, permitindo comparações entre os mesmos. As 20 imagens geradas, foram organizadas em uma única tabela gráfica a fim de facilitar a visualização de todos os casos simulados (Figuras 3 e 4 apresentadas no Capítulo 5).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, são apresentados, respectivamente, os resultados obtidos a partir das métricas DA e UDI dos quatro modelos simulados, em sequência.

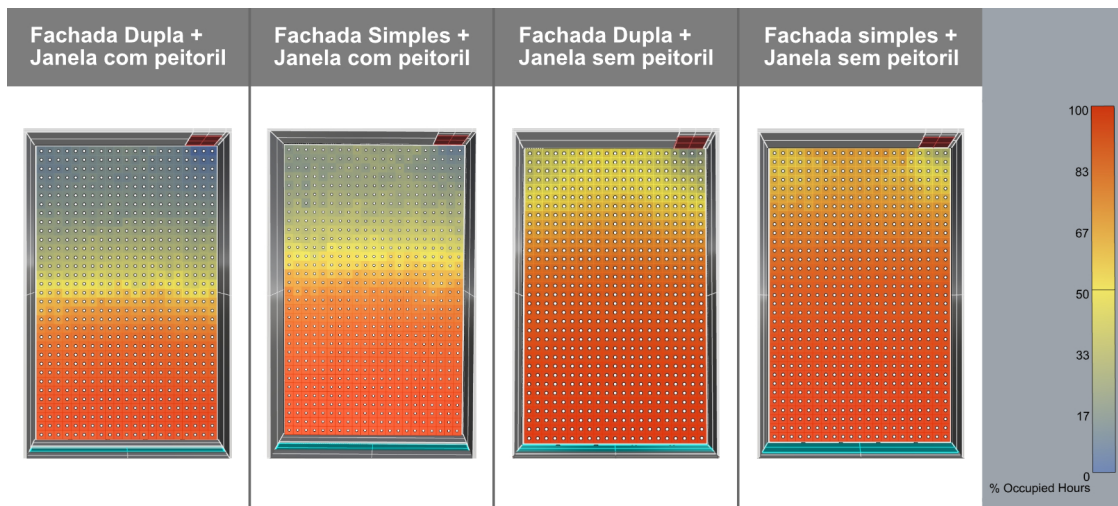
Analisou-se primeiramente os resultados obtidos pela métrica *DaylightAutonomy*. A partir dos valores presentes na Tabela 2 referente ao *spatialDaylightAutonomy* e os resultados das simulações anuais da Figura 04, observa-se que tanto com o uso da fachada com peitoril e sem, há uma diferença de 10% no atendimento do DA para 500 lux em pelo menos 50% do tempo entre as duas configurações de fachada (dupla e simples), sendo que há maior entrada de luz com o uso da fachada simples, como era de se esperar. O uso desta métrica poderia então indicar que o uso de fachadas simples apresenta melhor desempenho em relação às fachadas duplas orientadas para o Norte.

Considerando as duas configurações de fachadas simples como os modelos de referência, pode-se calcular os valores para as outras configurações de forma relativa aos resultados obtidos para aqueles modelos. Dessa forma, pode-se dizer que, uma diminuição de 10% em DA, indica na realidade, um aumento relativo de 16% na comparação entre configurações de janela com peitoril e 10% entre configurações com janela sem peitoril

Tabela 3 – Área da planta que atende ao critério de UDI ou DA por no mínimo 50% do tempo de ocupação no ano

METRICAS	Useful Daylight Autonomy		Daylight Autonomy
Características	Faixa Lux	UDI[50%]	DA500[50%]
Fachada dupla + janela com peitoril	0 - 100 lux	0% da área	53% da área
	100 lux - 300 lux	23% da área	
	300 - 3000 lux	65% da área	
	> 3000 lux	10% da área	
Fachada simples + janela com peitoril	0 - 100 lux	0% da área	63% da área
	100 lux - 300 lux	2% da área	
	300 - 3000 lux	78% da área	
	> 3000 lux	16% da área	
Fachada dupla + janela sem peitoril	0 - 100 lux	0% da área	89% da área
	100 lux - 300 lux	0% da área	
	300 - 3000 lux	81% da área	
	> 3000 lux	19% da área	
Fachada simples + janela sem peitoril	0 - 100 lux	0% da área	99% da área
	100 lux - 300 lux	0% da área	
	300 - 3000 lux	76% da área	
	> 3000 lux	24% da área	

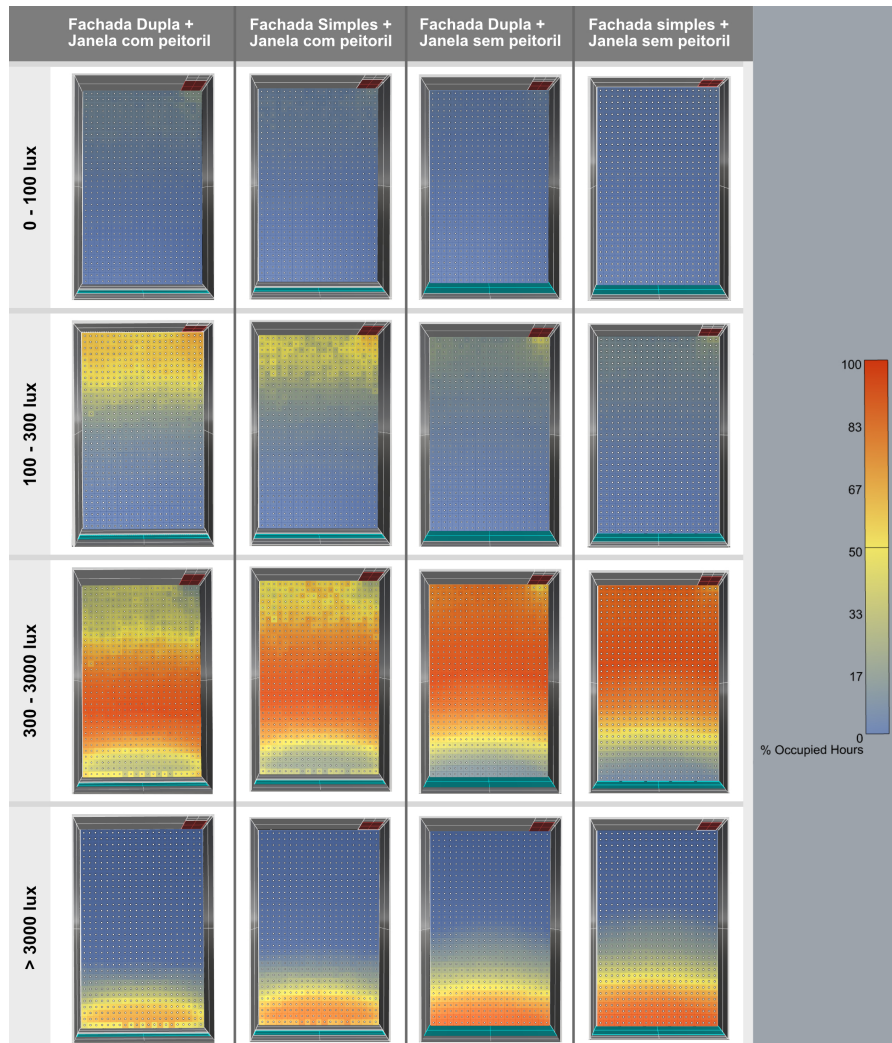
Figura 4 – Resultado das simulações anuais em planta de DA500



Uma análise visual da Figura 4 indica que as diferenças no desempenho da luz natural poderiam estar apenas em relação ao fundo ao ambiente. No entanto, sabe-se que próximo à janela pode haver excesso de luz, especialmente prejudicial à realização de atividades de escritório, pois pode inviabilizar o uso de áreas próximas à fachada ou fazer com que usuários próximos à mesma fechem cortinas ou persianas, diminuindo, assim, a disponibilidade de luz para o ambiente como um

todo. Considerando o que foi mencionado na seção 3.2, de que a DA apresenta limitações por não definir um limite superior de iluminância tolerável, cumpre analisar a ocorrência de níveis elevados de iluminação. Neste caso, foi usada a métrica de UDI >3000 para a análise, apresentada a seguir.

Figura 5 – Resultado das simulações anuais em planta de UDI nas quatro faixas de iluminâncias estabelecidas



Ao abordar sobre as análises dos resultados derivados das simulações de UDI (Figura 5) referente às faixas de iluminâncias menores que 100 lux, pode-se notar que nos quatro casos, o uso ou não de fachada dupla, e a presença ou não de um peitoril, não apresentou influência na iluminação. A Figura 05 mostra, visualmente, que em nenhum momento durante os horários de ocupação da sala, há insuficiência significativa de luz em qualquer área da sala. Esta observação é referendada na Tabela 2 na qual se pode verificar que não há incidência de UDI abaixo de 100 lux em pelo menos 50% do tempo em nenhum dos casos estudados.

Considerando a faixa de iluminâncias entre 100 e 300 lux, denominada *UDI Supplementary*, é possível notar, através da Figura 5, que nas configurações em que o edifício apresenta peitoril, uma maior área no fundo da sala apresenta pontos que se enquadram dentro desta faixa iluminância, sendo que a fachada dupla apresenta maior porcentagem de UDI nesta faixa se comparado com aquele de fachada simples. Através da Tabela 2, em que são apresentados os valores das simulações, é possível verificar também essa diferença onde a faixa entre 100 e 300 lux em pelo menos 50% do tempo passa de 2% para 23% da área do ambiente quando a fachada dupla passa a ser considerada. Colocando a fachada simples como referência, nesse caso, houve um aumento relativo de 10 vezes de UDI nessa faixa de iluminâncias.

Em contrapartida, nas duas configurações sem peitoril, não há diferença significativa entre o uso de fachada simples ou dupla para esta faixa de iluminâncias, uma vez que em ambos os casos, 0% da área apresenta valores dentro da faixa entre 100 e 300 lux para pelo menos 50% do tempo (tabela 2).

Vale lembrar que essa faixa de iluminâncias se caracteriza por uma possível necessidade de uso complementar de iluminação artificial para a realização de atividades como leituras, podendo se dizer que no primeiro caso (fachada dupla + janela com peitoril), a área da sala com cores na tonalidade amarelona Figura 5 (aproximadamente 1/4 da superfície), necessitará de iluminação secundária para esse tipo de atividade durante 50% do tempo de ocupação ao longo do ano.

A faixa de iluminâncias que compreende os valores de 300 a 3000 lux, ou *UDI Autonomous* é a que merece maior atenção, já que se define pela baixa probabilidade de uso adicional de iluminação artificial. Continuando a observar a Figura 5, percebe-se que ao se analisar a presença de peitoril, o uso da fachada dupla influencia em certo grau a distribuição da luz se comparado a um edifício com fachada simples, sendo, porém, o aspecto visual de ambos os gráficos é similar entre si. Numericamente, 65% da área atinge o critério estabelecido no primeiro caso, em oposição ao segundo caso, em que 78% da área atinge com os níveis estabelecidos. Ao comparar esses dois casos, o uso fachada dupla, nessa situação, diminuiu a área da sala que apresenta iluminâncias entre 300 a 3000 lux por pelo menos 50% do tempo de ocupação, diferença essa referente a 13%. Em termos relativos, considerando mais uma vez as configurações de fachadas simples como

os modelos de referência, uma diminuição de 13%, indica na realidade, uma diminuição relativa de 17% de UDI.

Considerando a análise descrita no parágrafo anterior, ao comparar os resultados gráficos entre configurações sem peitoril, sendo um de fachada dupla e outro de fachada simples, o edifício sem peitoril com fachada dupla apresentou valores dentro desta faixa em 81% da área, em oposição a 76% da área quando é um edifício com fachada simples, sendo essa diferença representada por 5% entre os dois casos. De maneira a complementar o resultado, nesse caso, diferença relativa foi um aumento relativo de 7% em UDI.

Analisando a última faixa de iluminância da UDI, é importante levar em conta que as áreas que apresentam níveis de iluminância acima de 3000 lux, são áreas em que há chance de ocorrência de ofuscamento e desconforto visual. Assim, atentando para a Figura 5, é interessante examinar que o uso da fachada dupla, tanto no edifício com peitoril quanto naquele sem peitoril, possibilitou a diminuição de iluminação nessa faixa de luz indesejável, comparado com o uso de fachada simples. No primeiro caso, a fachada dupla em um edifício com peitoril diminuiu em 6% as áreas sujeitas ao desconforto visual próximos à janela. Em termos relativos, a diminuição de 37,5% de UDI foi encontrada quando comparada à configuração de fachada simples com peitoril.

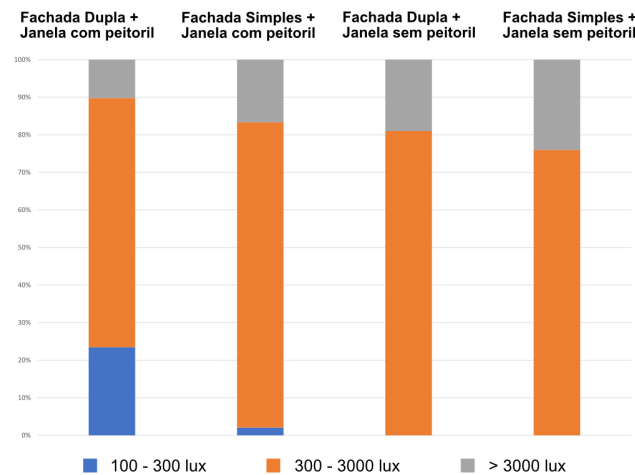
Já no segundo cenário, aquele sem peitoril, a presença do sistema diminuiu em 5% as áreas sujeitas ao ofuscamento. Porém, ao colocar a configuração fachada simples como referência, essa diminuição relativa foi de 21% de UDI.

Em relação às configurações de fachada simples, podemos fazer as seguintes considerações: i) pressupõe-se que uma janela sem peitoril possibilita uma maior penetração de luz solar nas áreas próximas à janela, em relação a uma janela que possui peitoril. Com efeito, 24% da área da sala excedem os 3000 lux quando não há presença de peitoril. Já nos edifícios que possuem peitoril, 19% da área excedem os 3000 lux. Esse fato não deve ser deixado de lado, ao demonstrar que a geometria de abertura influencia diretamente na distribuição e disponibilidade de luz interna no ambiente; ii) as regiões preenchidas em tons de laranja na Figura 5, de fachada simples sem peitoril, indicam que durante aproximadamente 100% do tempo de ocupação, as áreas adjacentes à janela, na altura do plano de trabalho, vão

apresentar níveis de luz acima do desejável, diferentemente do edifício de fachada simples com peitoril, em que a mesma região não chega a ter em 100% do período de ocupação iluminâncias que excedem os 3000 lux.

Todos os resultados descritos e analisados anteriormente para a UDI podem ser resumidos no gráfico da Figura 06, que corrobora alguns dos resultados já citados.

Figura 6 – Comparação dos resultados da UDI por faixas de iluminâncias



Fonte: O autor

Através da figura, verifica-se que nos edifícios que apresentam peitoril, o uso da fachada dupla diminui a quantidade de luz no interior nas faixas de iluminâncias que se caracterizam por um bom desempenho luminoso (300-3000 lux), não sendo, portanto, interessante nesse caso. Já nas configurações sem peitoril, pode-se dizer que o uso da fachada dupla foi benéfico, porém não em uma escala significativa. Nesse último caso, a utilização da fachada dupla aumentou a disponibilidade de iluminâncias na faixa de 300-3000 lux e diminuiu as áreas com potenciais de ofuscamento com iluminâncias acima de 3000 lux.

6. CONCLUSÃO

O desempenho luminoso em uma sala de um modelo de edifício de escritórios, situado na cidade de São Paulo, foi analisado considerando fachada dupla e fachada simples, para a orientação Norte, com diferentes geometrias de aberturas (janelas com e sem peitoril) e ambas com uso de vidro simples. As simulações dinâmicas de luz natural foram baseadas em dados climáticos anuais, denominadas *ClimateBasedDynamicModelling*.

As métricas *DaylightAutonomy*(DA) juntamente com *UsefulDaylightIlluminance*(UDI) foram adotadas para as análises dos resultados. Conclui-se que a métrica UDI mostrou-se mais adequada, ao apresentar dados mais detalhados a respeito do desempenho da luz no plano de estudo.

As faixas de iluminâncias sugeridas por Mardaljevic *et al.* (2012) foram consideradas para o estudo. Assim, obtiveram-se resultados da métrica UDI300 para as quatro faixas de iluminâncias sugeridas pelos autores. Para a DA, estabeleceu-se 500 lux como valor mínimo de iluminância para o escritório. Foi estabelecida, também, a porcentagem de pelo menos 50% do tempo de ocupação como período mínimo para considerar que as áreas estivessem sob condição de iluminância desejada.

A conclusão geral que se pode retirar desse estudo, é que a utilização da fachada dupla na maior parte dos casos não afetou, de maneira significativa, o desempenho luminoso dentro do ambiente considerado, podendo-se dizer até levemente vantajosa em uma situação específica. Como exemplo de situação em que o uso da fachada dupla se mostrou benéfico, pode-se citar a diminuição do percentual de áreas adjacentes à janela com iluminâncias acima de 3000 lux, onde poderia ocorrer ofuscamentos e desconfortos visuais. Deve-se atentar, porém, que as conclusões relatadas acima só foram possíveis pois os modelos possuem janelas grandes e orientação Norte. Em janelas menores e outras orientações com menor disponibilidade da incidência solar, algumas reduções poderiam ser agravadas.

Acredita-se, que o atual trabalho contribui para as discussões sobre o desempenho luminoso em fachadas duplas, temática essa ainda pouco abordada no campo científico. Porém, deve-se ressaltar, que os resultados aqui obtidos não devem ser extrapolados de maneira não criteriosa para outras configurações arquitetônicas, outras orientações e em outras cidades. As conclusões do trabalho podem, entretanto, servir como guia e referência de como a fachada dupla influencia o desempenho da luz no ambiente.

Por exemplo, o estudo ressaltou que a grande diferença entre uma fachada de vidro simples e uma fachada dupla está na transmissividade do vidro. A partir do momento em que se acrescenta uma nova camada desse material à fachada, há uma diminuição da transmissão da luz para o interior, equivalente à própria transmissão

dessa nova camada envidraçada. Este fenômeno seria similar à substituição do vidro original por um vidro de transmissividade luminosa menor. O estudo parece sugerir que, outros fatores relacionados à segunda camada de vidro, como estruturas de suporte, espessura da cavidade não afeta essa constatação acima, mas que devem ser comprovados com futuros estudos.

Portanto, escolha do vidro, pelos motivos descritos acima, deve ser feita cuidadosamente. O ideal seria escolher um vidro da mais alta transmissibilidade possível na situação estudada, de maneira a se equilibrar o desempenho luminoso com os objetivos térmicos do projeto.

Da mesma forma, decisões projetuais como *layout*, geometria de abertura, orientação da fachada, revestimentos e materiais utilizados, podem mudar os resultados encontrados, influenciando, conseqüentemente, na escolha de se utilizar ou não tecnologias como a fachada dupla. Idealiza-se, portanto, que o uso de soluções disponíveis no mercado, tais quais a fachada dupla, devam ser fruto de decisões de projeto que contribuam para a construção de edifícios eficientes e que promovam condições ambientalmente confortáveis para seus usuários. E isso, desde as etapas de concepção de projeto e com estudo individualizados para cada caso.

Para futuros trabalhos sugere-se considerar outras variáveis a serem simuladas, como o entorno das edificações, salas em diferentes pavimentos, dispositivos de sombreamento dentro da cavidade da fachada dupla, dentre outros aspectos e parâmetros que não foram abordados nesse trabalho, mas que podem contribuir ainda mais com o tema.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), **NBR15.575 - Edificações habitacionais - Desempenho - parte1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.
- AGUILAR-SANTANA, J. L.; JARIMI, H.; VELASCO-CARRASCO, M.; RIFFAT, S. Review on window-glazing technologies and future prospects. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 15, n. 1, p. 112-120, 2020. Disponível em: <https://academic.oup.com/ijlct/article/15/1/112/5660929>
- AHMED, M.; ABDEL-RAHMAN, A.; ALI, P. D. E. A. H. H.; SUZUKI, M. Double Skin Façade: The State of Art on Building Energy Efficiency. **Journal of Clean Energy Technologies**, v.4, p. 84-89, 2016.
- AKSAMIJA, A. Thermal, Energy and Daylight Analysis of Different Types of Double Skin Facades in Various Climates. **Journal of Facade Design and Engineering**; v. 6,n. 1: Facade Design and EngineeringDO - 10.7480/jfde.2018.1.1527, 2018
- ARIES, M. B. C.; AARTS, M. P. J.; VAN HOOFF, J. Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. **Lighting Research & Technology**, v. 47, n. 1, p. 6-27, 2013.
- AYOUB, M. 100 Years of daylighting: A chronological review of daylight prediction and calculation methods. **Solar Energy**, v.194, p.360-390, 2019.
- BALDINELLI, G. Double skin façades for warm climate regions: Analysis of a solution with an integrated movable shading system. **Building and Environment**, v. 44, n.6, p. 1107-1118, 2009.
- CAVALERI, M. P. M.; CUNHA, G .R. M.; GONÇALVES, J. C. S. Iluminação natural em edifícios de escritórios: avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v.9, n.1, p.19-34, 2018.
- CHAN, A. L. S.; CHOW, T. T.; FONG, K. F.; LIN, Z. Investigation on energy performanceof double skin façade in Hong Kong. **Energy and Buildings**, v.41, n. 11, p. 1135-1142, 2009.
- CIBSE. CIBSE Guide L: Sustainability. 2020. Disponível em: file:///E:/Downloads/CIBSE_Guide_L_2020_pdf.pdf .Acesso em: 02 dez. 2020
- CIBSE, LG10. SLL Lighting Guide 10: Daylighting–A Guide for Designers: Lighting for the Built Environment. **The Society of Light and Lighting (part of CIBSE), Page Bros.(Norwich)**, 2014.
- CONCURSOS DE PROJETO. Projeto Igara UFCSPA. Disponível em: <https://concursosdeprojeto.org/2014/10/27/premiados-concurso-publico-nacional-de-arquitetura-campus-igara-ufcspa%E2%80%8F/>. Acesso em: 02 dez. 2020.
- DIDONÉ, E.; PEREIRA, F. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambient. constr. (Online), Porto Alegre**, v. 10, n. 4, p. 139-154,2010. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212010000400010>.

DING, W.; HASEMI, Y.; YAMADA, T. Natural ventilation performance of a double-skin façade with a solar chimney. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 4, p.411-418, 2005.

FONSECA, R. W.; FERNANDES, F. F. A; PEREIRA, E. O. R. Zoneamento bioclimático referente à iluminação natural para o território brasileiro. In: XIV ENCAC - Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído, X ELACAC – Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais. Balneário Camboriu, 2017. p. 1889-189

IBAM, INSTITUTO BRASILEIRO DE ASSISTÊNCIA MUNICIPAL. **Elaboração e atualização do código de obras e edificações**. 2 ed. Rev. E atual. Rio de Janeiro: IBAM / DUMA, ELETROBRAS / PROCEL, 2012.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global status report for buildings and construction: towards a zero emissions, efficient and resilient buildings and construction sector. 2019.

IEA. **Buildings: A source of enormous untapped efficiency potencial**. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/buildings>.

JOSÉ, J.; CASTRO, E. Desempenho do software ECOTECT no cálculo da luz natural em edificações. In: SBQP 2011-Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. 2011. Disponível em: <https://www.iau.usp.br/ocs/index.php/sbqp2011/sbqp2011/paper/viewFile/245/235>

IES, ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY, **IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. Report LM-83-12. 2012. Disponível em: <https://www.ies.org/product/ies-spatial-daylight-autonomy-sda-and-annual-sunlight-exposure-ase>. Acesso em: 02 dez. 2020.

MARDALJEVIC, J. et al. Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability?. In: **Proceedings of the building simulation and optimization conference BSO12**. 2012.

MIT, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Sustainable Design Lab. Disponível em: <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/software.html>. Acesso em: 02 dez. 2020

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminances: a replacement for daylight factors. Science Direct. **Energy and Buildings**, v. 38, n. 7, p. 905-913, 2006.

PANITZ, K.; HANSEN, G.V. Daylighting design and digital tools: Ease of use analysis of digital tools for architects. In: Construction and Society. The 19th International CIB World Building Congress, Brisbane, Queensland University of Technology, **Proceedings...** p.1-13, 2013.

PARIAFSAI, F. A review of design considerations in glass buildings. **Frontiers of Architectural Research**, v.5, n. 2, p. 171-193, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263516000133?via%3Dihub>

POMPONI, F.; IP, K.; PIROOZ FAR, P. Assessment of double skin façade technologies for office refurbishments in the United Kingdom. In: **Proceedings of the**

sustainable buildings–construction products & technologies. Verlag der Technischen Universität Graz, 2013. p. 1098-1109.

RADHI, H., SHARPLES, S.; FIKIRY, F. Will multi-facade systems reduce cooling energy in fully glazed buildings? A scoping study of UAE buildings. **Energy and Buildings**, v.56, 179-188, 2013.

REINHART, C. F.; MARDALJEVIC, J.; ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. **Leukos**, v. 3, n. 1, 2006.

SAELENS, D. Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades. 2002.

SAFER, N.; WOLOSZYN, M.; ROUX, J.-J.; RUSAOUËN, G. *et al.* Modeling of the double-skin facades for building energy simulations: radiative and convective heat transfer. In: Building Simulation. Ninth International IBPSA Conference, Montreal, **Proceedings...** p. 1067-1074, 2005.

SHAMERI, M. A.; ALGHOUL, M. A.; ELAYEB, O.; ZAIN, M. F. M. *et al.* Daylighting characteristics of existing double-skin façade office buildings. **Energy and Buildings**, v.59, p. 279-286, 2013.

SHEN, H., TZEMPELIKOS, A. Daylighting and energy analysis of private offices with automated interior roller shades. **Solar Energy**, v. 86, n. 2, p. 681 –704, 2012.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.11.016>

SUN, Y.; WU, Y.; WILSON, R. A review of thermal and optical characterisation of complex window systems and their building performance prediction. **Applied Energy**, v. 222, p. 729-747, 2018.

UN, UNITED NATIONS. **Work Plan of the Group of Experts on Energy Efficiency.** Committee on Sustainable Energy of the Economic Commission for Europe, Geneva, 25-27 September 2019. Disponível em:
https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/CSE/comm28.2019/ECE_ENERGY_2019_8_Final.pdf. Acesso em: 02 dez. 2020

VELOSO, A.; SOUZA, R.; SANTOS, F., 2020. Energy benchmarking for office building towers in mild temperate climate. **Energy and Buildings**, v.222, p.110059. 2020

WYMELENBERG, K., INANICI, M. A Critical Investigation of Common Lighting Design Metrics for Predicting Human Visual Comfort in Offices with Daylight. **LEUKOS**. v. 10, n. 3, p. 145-164, 2014.
doi:<https://doi.org/10.1080/15502724.2014.881720>