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

ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTE INTERNO DE EDIFICAÇÕES DE ESCRITÓRIO DE DIFERENTES TIPOLOGIAS NA CIDADE DE VITÓRIA-ES

Felipe A. Carpanedo (1); Maria Claudia de S. L. S. B. Barros (2); Mariana Mardegan (3); Anna Carolina de B. Piras (4); Ricardo N. Maioli (5); Érica C. Pagel (6)

(1) mestrando em Arquitetura e Cidade, facarpanedo@gmail.com, UVV, Rua Constante Sodré, n599, ap 802. Praia do Canto, Vitória/ES, CEP: 29055-420

(2) estudante de graduação em Arquitetura e Urbanismo, mariaclaudia.arcline@gmail.com, FAESA, R. Prof. Belmiro Siqueira, 85/1704, T1, Enseada do Suá, Vitória/ES, CEP:29050-580

(3) estudante de graduação em Arquitetura e Urbanismo, marianamardegan11@gmail.com, FAESA, R. José Neves Cypreste, 560, ap. 301, Jardim da Penha, Vitória/ES, CEP 29060-300

(4) estudante de graduação em Arquitetura e Urbanismo, carolinabpiras@gmail.com, FAESA, Av. Saturnino Rangel Mauro, 406/201, Jd. da Penha, Vitória/ES, CEP 29060-768

(5) Me, Professor do curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo, ricardo.nacari@faesa.br, FAESA, Av. Vitória, 2220, Monte Belo, Vitória - ES, CEP 29053-360, (27) 2122-4100

(6) Dra, Professora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Cidade, erica.pagel@uvv.com, UVV, Av. Comissário José Dantas de Melo, 21, Boa Vista II, Vila Velha/ES, CEP 29102-920, (27) 3421-2026

RESUMO

A envoltória de edifícios de escritórios está intimamente relacionada ao aproveitamento da luz natural e uma das formas de analisar a interferência da iluminação natural no interior de uma edificação é através de simulação computacional. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho luminoso de diferentes tipologias arquitetônicas de edifícios verticais de escritórios construídos em Vitoria/ES. A metodologia utilizada envolveu a modelagem do ambiente interno de quatro edifícios representativos de períodos diferentes, simulados em oito orientações, sem a presença de entorno obstruído, a fim de excluir a influência dessa variável nesta investigação. O intuito é o de avaliar o comportamento da luz natural através das métricas de Useful Daylight Iluminances (UDI) e Daylight Autonomy (DA). Para tal simulação computacional foi utilizado o plug-in Diva-for-Rhino. Os resultados mostram que o modelo representativo do período de 2000 a 2016, simulado com uma fachada com PAF 100% associada a um vidro de baixa transmissividade alcançaram maiores percentuais de UDI nos ambientes. Contudo, o modelo representativo do período de 1950 a 1979, com PAF 40% e vidro de alta transmissividade alcançou o maior desempenho com relação ao DA.
Palavras-chave: iluminação natural, tipologia construtiva, simulação computacional

ABSTRACT

The envelope of office buildings is closely related to the use of natural light and one of the ways to analyze the interference of daylighting inside a building is through computer simulation. Therefore, the objective of this work was to evaluate the light performance of different architectural typologies of vertical office buildings constructed in Vitoria/ES. The methodology used involved the modeling of the internal environment of four representative buildings from different periods, simulated in eight orientations, without the presence of obstructed surroundings, in order to exclude the influence of this variable in this investigation. The aim is to evaluate the behavior of daylighting through the metrics of Useful Daylight Iluminances (UDI) and Daylight Autonomy (DA). For this computer simulation the Diva-for-Rhino plug-in was used. The results show that the representative model of the period from 2000 to 2016, simulated with a facade with 100% PAF, with low transmissivity glass, reached higher percentages of UDI in environments. However, the representative model from 1950 to 1979, with 40% PAF and high transmissivity glass, achieved the highest performance in relation to DA.
Keywords: daylighting, typology construction, computacional simulation

1. INTRODUÇÃO

A qualidade dos ambientes influencia a saúde, o bem-estar e a produtividade dos seus usuários (CHOZ; LOFTENESS; AZIS, 2012) e a iluminação natural tem efeitos positivos neste aspecto pois, além de gerar melhorias para a saúde, desempenho e humor dos trabalhadores, viabiliza a economia de energia, visto que em edificações comerciais de escritório contemporâneas a iluminação artificial dos ambientes é responsável por grande parcela do consumo de energia junto com o sistema de condicionamento artificial do ar (DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

Em zonas tropicais o sol quase sempre é visível em horário comercial, o que favorece a utilização da luz natural nessas edificações. Contudo, o seu emprego requer certos cuidados, principalmente em regiões cujo clima é quente e úmido, pois a intensa radiação solar que lhes é característica pode provocar excesso de brilho no interior dos ambientes, tornando necessária a adoção de técnicas projetuais que amenizem desconfortos visuais dele decorrentes, como o ofuscamento e o contraste excessivo (LIMA; LEDER; NODA, 2017).

Tanto o posicionamento e o tamanho das aberturas, quanto o tipo de esquadrias, a presença de elementos de proteção e os materiais de revestimento utilizados nas fachadas das edificações, são fatores que exercem influência sobre o acesso e a distribuição da luz natural no interior do ambiente (VIANNA; GONÇALVES, 2001). Assim, faz-se necessário considerar a tipologia arquitetônica dos edifícios comerciais, que vem sofrendo grande alteração ao longo dos anos, graças ao advento das novas tecnologias que possibilitaram maiores percentuais de aberturas de fachadas, quando da análise do aproveitamento da iluminação natural no interior dessas edificações

No que atine à tipologia arquitetônica, um levantamento prévio feito na cidade de Vitória/ES, demonstrou que o percentual de aberturas de fachada passou de 30% a 40% nas décadas de 50 a 70 para 90% a 100% nas décadas 2000 a 2010, não sendo adotado, no entanto, qualquer elemento de proteção, mas apenas a substituição do padrão de vidros incolor, fumê/ bronze, para vidros reflexivos, bem como a adoção das janelas maxim-ar em detrimento das janelas de correr (MAIOLI et al; 2018). Essa evolução tipológica tem por consequência a alteração dos níveis de iluminância obtidos dentro do ambiente.

A maioria das pesquisas que investigam a forma mais adequada de utilização de luz natural em uma edificação são realizadas por meio de simulação computacional. Através dela são criados modelos tridimensionais de edificações ou ambientes que se assemelham à realidade, permitindo um estudo da distribuição da luz natural no seu interior e dos efeitos da reflexão e transmissão que diferentes tipos de materiais podem causar, auxiliando assim no processo de tomada de decisões em diferentes etapas de projeto, de forma a criar locais mais adequados à execução laboral (RIZZARDI; PEREIRA; CLARO, 2017).

Com auxílio desses softwares é possivel desenvolver simulações estáticas (análises pontuais) ou dinâmicas (avaliação do desempenho da luz natural ao longo do ano). As simulações dinâmicas empregam dados de radiação local, hora a hora, obtidos através de arquivos climáticos anuais, utilizados como indicadores dinâmicos do desempenho da luz natural. Os indicadores mais utilizados são o Daylight Autonomy (DA) e o Useful Daylight Illuminances (UDI) (MORAES; PEREIRA, 2011).

Através do índice DA, desenvolvido por Reinhart em 2002 (REINHART, 2004), é estabelecido um percentual de horas do ambiente no qual a iluminância no plano de trabalho atinge um valor pré-determinado, possibilitando uma autonomia da iluminação natural em relação à luz artificial. Contudo, nesse método não são computadas as iluminâncias que estejam acima ou abaixo do valor pré-fixado de referência, necessitando de uma análise complementar através de outro método, qual seja, o UDI (DIDONÉ; PEREIRA, 2010; MORAES; PEREIRA, 2011). O método UDI, proposto por Nabil e Mardaljevic (2006), traça o percentual de horas em um ano em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor dentro de uma variação confortável (considerada útil) definida entre 100 e 2000 lux, definindo também o quantitativo de iluminância abaixo de 100 lux e acima de 2000lux, os quais podem ocasionar desconforto visual. A principal diferença, portanto, entre os parâmetros DA e UDI é um fornecimento de um limite de valor aceitável ao segundo caso (CAVALERI; CUNHA; GONÇALVEZ, 2018).

Portanto, por meio de uma análise dinâmica de aproveitamento da luz natural no interior de diferentes tipologias construtivas, através da qual seja possível identificar a porcentagem anual da iluminância supra, infra ou ideal, de acordo com os padrões normativos, é admissível ponderar se as mudanças arquitetônicas ocorridas ao logo das últimas 60 décadas na cidade de Vitória/ES foram benéficas com relação à utilização de iluminação natural no ambiente de trabalho do usuário.

2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo analisar a admissão de iluminação natural em um ambiente interno de uma sala comercial, inserida em quatro modelos de tipologia construtiva de edificações verticais de escritório, com diferentes PAF e sem a presença de entorno obstruído, na cidade de Vitória/ES, através das métricas Useful Daylight Iluminances (UDI) e Daylight Autonomy (DA).

3. MÉTODO

A metodologia foi separada em três partes: (1) definição e modelagem; (2) simulação computacional; (3) parâmetros de análise. Foram modeladas quatro tipologias de edifícios e estes simulados em oito orientações diferentes. Para tal simulação computacional e análise do comportamento da luz natural, os modelos foram desenvolvidos no software Sketchup, posteriormente exportados para o Rhinoceros 5.0 e então simulados no plug-in Diva para, em seguida, ser realizada a análise comparativa entre o desempenho dos modelos.

3.1. Definição e modelagem

Para construção dos modelos foi utilizada como base a pesquisa de Maioli et al (2018), na qual foi feito o mapeamento de edifícios de escritórios da cidade de Vitória/ES, que possuíssem quatro pavimentos ou mais, assim separados em três períodos de construção: 1950 a 1979, 1980 a 1999 e 2000 a 2016 (Tabela 1).

Tabela 1: Características dos modelos representativos de Maioli *et al* (2018).

Características	**1950 a 1979**	**1980 a 1999**	**2000 a 2016**
Número de pavimentos	11	11	12
Forma	Retangular	Retangular	Retangular
Cobertura	Telhado embutido	Telhado embutido	Laje Impermeabilizada
PAF	30,1% a 40%	40,1% a 50%	31% a 40%; 90% a 100%
Sistema de abertura	Janela de Correr	Maxim-ar	Maxim-ar
Tipo de Vidro	Incolor (transmissividade 88%)	Fumê/Bronze (transmissividade 53%)	Reflexivo (transmissividade 35%)
Elemento de proteção	Não possui	Não possui	Não possui
Cor da fachada	Bege e Cinza	Bege e Cinza	Azul e Branco
Revest. da fachada	Pintura	Pastilha e Vidro	Vidro e ACM

Definiu-se, portanto, como modelo padrão deste estudo um edifício de base retangular com dimensões de 30 por 15 metros com fachada principal e posterior consideradas na maior dimensão (30 m) e fachadas cegas nas laterais, similar ao adotado por Maioli, Taufner e Alvarez (2014). Quanto aos pavimentos se definiu 11 andares como padrão, sendo primeiro pavimento composto por pilotis e a cobertura por telhados embutidos. O peitoril das aberturas utilizado nos modelos foi padronizado em 1,1 m nos Modelos 1, 2 e 3. A definição dos modelos prevista nesse artigo servirá de suporte às etapas posteriores da pesquisa, nas quais serão avaliadas outras variáveis não contempladas nesse trabalho, como, por exemplo, a influência do entorno construído em outros pavimentos do edifício.

Em relação às janelas foram utilizados os Percentuais de Abertura de Fachada (PAF) predominantes encontrados por Maioli et al (2018) no seus maiores valores, sendo que no período de 2000 a 2016 foram encontrados dois padrões dominantes de PAF, totalizando, portanto, na elaboração de quatro modelos para estudo. Assim os PAF utilizados foram, 40%, 50%, 40% e 100% e os vidros incolor, bronze, reflexivo e reflexivo, respectivamente (Figura 1).

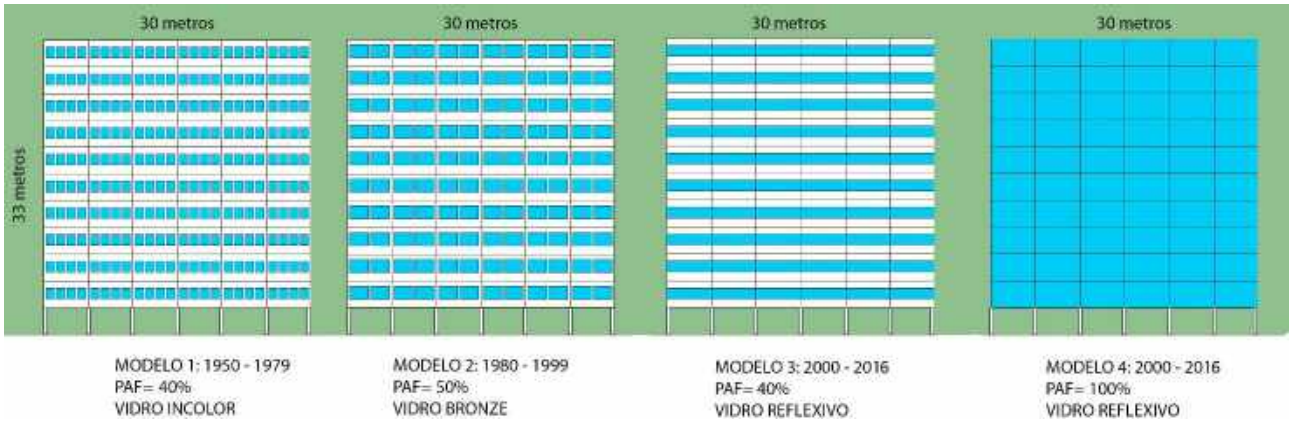


Figura 1: Fachadas dos quatro modelos selecionados para análise com PAF adotado para simulação de 40%, 50%, 40% e 100%, respectivamente.

Selecionou-se para estudo uma sala comercial de 30 metros quadrados e com pé direito de 2,70 metros, acrescentando laje e piso acabados, similar aos estudos realizados em tipologias de edifícios comerciais por Bernabé (2012), Santos (2012), Casagrande (2013) e Maioli, Taufner e Alvarez (2014). A tipologia de edifícios definidas nesses estudos reflete uma tendência da região onde as edificações comerciais ocupam, em geral, mais de um lote no alinhamento das vias a fim de conseguir um maior aproveitamento dos índices urbanísticos das regiões comerciais do município.

A sala possui então 5 metros de largura por 6 metros de profundidade (Figura 2), e suas aberturas externas variam de acordo com o PAF de cada época histórica estudada, assim como o tipo de vidro. Os modelos contam com seis salas orientadas para fachada frontal e seis salas para a fachada posterior, separadas por um corredor central, similares ao modelo adotado por Maioli, Taufner e Alvarez (2014).

Para os quatro modelos, foram simuladas 8 variações de orientações de fachada (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Nordeste) e a sala simulada foi a localizada no quinto pavimento, ponto médio da fachada com relação à altura, totalizando, portanto, 32 simulações.

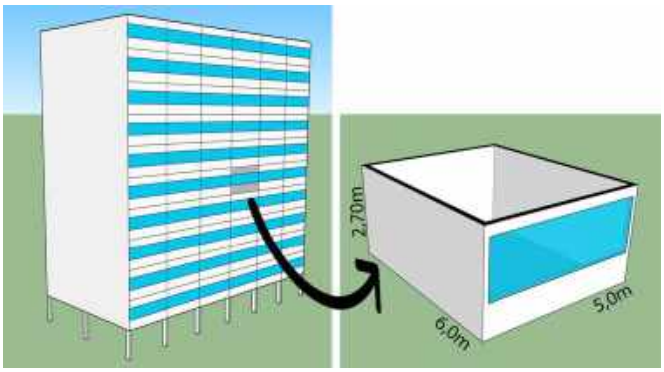


Figura 2: Edifício Modelo 3 com sala padrão simulada em destaque.

3.2. Simulação computacional

As simulações computacionais do cálculo de iluminância foram realizadas utilizando o programa Diva-for-Rhino como plug-in em aplicação no software Rhinocerus 5.0. Esse plug-in, desenvolvido na Graduate School of Design da Universidade de Harvard, é constantemente utilizado no meio acadêmico (RIZZARDI; PEREIRA; CLARO, 2017; SOUZA; GRIGOLETTI; VAGHETTI, 2017; GARCIA; SILVEIRA; PEREIRA, 2018). Além disso suas simulações são baseadas nos programas EnergyPlus, Radiance e Daysim, programas já validados por trabalhos científicos. Assim, a escolha desse instrumento baseou-se na sua aceitação no meio acadêmico e por possuir uma interface gráfica de fácil utilização.

Foi utilizada a simulação dinâmica de iluminância, na qual é possível simular um ano inteiro, bem como, determinar a escala de valores para os níveis de iluminação natural de interesse. Na simulação dinâmica o desempenho da luz do dia deve ser considerado ao longo do tempo e é altamente dependente das condições climáticas locais, especialmente a luz fornecida a partir da radiação solar indireta refletida (MAIOLI; TAUFNER; ALVAREZ, 2014). Entretanto, na atual pesquisa somente foi considerada a reflexão da luz proveniente do solo do entorno.

Os modelos foram simulados para todos os dias do ano, de hora em hora, levando em consideração que no período das 8 às 12 horas e das 14 às 18 h o ambiente estaria ocupado, e das 12 as 14 h não foi

considerada sua ocupação, baseado no horário de utilização de uma sala comercial, totalizando 8 horas diárias de regime de trabalho (MAIOLI; TAUFNER; ALVAREZ, 2014; BAVARESCO, 2016; FASSINA, 2017).

Assim, conforme solicitado pelo *plug-in*, foram inseridas informações sobre a localização com a inserção do arquivo climático (location), os pontos de análise de incidência da luz natural (nodes), os materiais de cada elemento da modelagem com suas respectivas refletâncias (materials) e métricas objetivadas (metrics).

Utilizou-se o arquivo climático em formato EPW, do INMET, referente à cidade de Vitória-ES. A cidade de Vitória (LAT 20º19'S e LONG 40°20'O) (Figura 3) possui clima tropical litorâneo com temperaturas médias entre 18 ºC e 26 ºC, sendo mais elevadas no período do verão, e umidades relativas superiores a 50% (RODRIGUES *et al*, 2015).



Figura 3: Localização geográfica de Vitoria/ES.

Os pontos de análise foram definidos a 75 cm acima do piso e distanciados 50 cm entre si, respeitando uma faixa marginal de também 50 cm dos limites da sala (Figura 4), de acordo com os ditames da norma NBR 15.215-4 (ABNT, 2005).

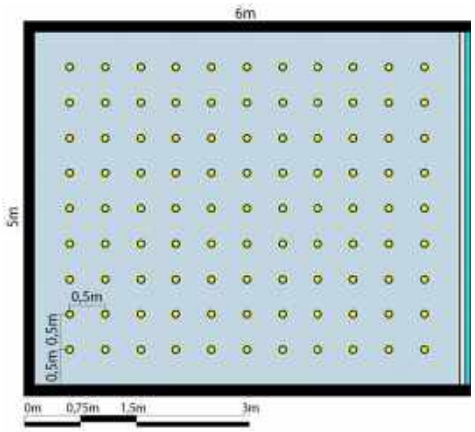


Figura 4: Planta baixa da sala comercial de estudo com a localização dos pontos de medição.

Na definição dos materiais, estes foram separados em *layers* no momento da modelagem e suas refletâncias foram inseridas em pasta do próprio programa (Assign Materials) com padrões de refletância respeitando a NBR 8995-1 (ABNT, 2013) e com os percentuais de reflexão da luz das superfícies definidas conforme Tabela 2, baseados em outros trabalhos.

Tabela 2: Tabela de porcentagem de refletância dos materiais utilizados na simulação dos modelos.

Superfícies	Refletâncias (%)	Referências
Piso externo	20	MAIOLI; TAUFNER; ALVAREZ (2014)
Pisos	20	CARTANA; PEREIRA; MAYER (2017), FASSINA (2017), MAIOLI; TAUFNER; ALVAREZ (2014).
Teto	70	CARTANA; PEREIRA; MAYER (2017), MAIOLI; TAUFNER; ALVAREZ (2014)
Paredes internas	50	CARTANA; PEREIRA; MAYER (2017), FASSINA (2017), MAIOLI; TAUFNER; ALVAREZ (2014)
Paredes externas	60	FASSINA (2017), MAIOLI; TAUFNER; ALVAREZ (2014)

Com relação ao vidro utilizado nos modelos foram definidas transmitâncias diferentes para cada tipo. Para o vidro incolor a transmitância foi configurada em 88% e o vidro reflexivo com valores em 35%, conforme

default do programa, e o vidro bronze com transmitância à luz visível em 53% (ARSENAUT; HEBERT; DUBOIS, 2012).

No que tange as métricas, neste trabalho foram simulados o UDI e o DA através de Metrics/Daylight Grid-Based/Climate-Based/Metric. Ademais, nessa etapa da investigação, nas simulações não foram consideradas as obstruções de parte do céu por obstáculos construídos ou naturais, tendo em vista que dentro das cidades, as parcelas de luz refletidas podem variar bastante em relação às superfícies do entorno construído (CORDEIRO *et al* 2017) e a análise dessa variável será explorada numa pesquisa posterior.

3.3. Parâmetros de análise

Os parâmetros utilizados para a análise dos modelos foram Useful Daylight Iluminances e Daylight Autonomy. Com relação à análise de DA foi predeterminado como valor de referência o valor de 500 lux definido na NBR 8995-1 (ABNT, 2013) para ambientes de trabalho em escritórios.

Desta forma, a simulação de DA apurou a porcentagem de horas ocupadas por ano em que as iluminâncias no plano de trabalho atingiram o valor estabelecido na norma, qual seja, acima de 500 lux de iluminância de luz natural. Já a simulação de UDI foi realizada para identificar as porcentagens de horas de um ano em que a iluminância no plano de trabalho está insuficiente, útil ou excessiva, ou seja, abaixo de 100 lux, entre 100 e 2.000 lux, ou acima de 2000 lux, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se analisar os resultados por modelos, percebeu-se que o Modelo 1, representativo do período de 1950 a 1979, apresenta um maior percentual das horas simuladas dentro do intervalo de iluminância excessiva, bem como, baixos valores de iluminância insuficiente, quando esses dados são comparados aos dos demais modelos. Apesar deste modelo ter sido simulado com um PAF de 40%, ele possui vidro incolor com 88% de percentual de transmissão solar e visível, permitindo a admissão de muita luminosidade, o que pode provocar ofuscamento por iluminância excessiva.

Esse intervalo de iluminâncias acima de 2000 lux alcançou valor entre 19,2 e 32,4% das horas simuladas do ano, correspondentes aos dados das salas simuladas na orientação sul e noroeste respectivamente. Com relação às horas simuladas com iluminâncias registradas abaixo de 100 lux, este modelo apresentou os menores valores dentre todos os modelos e orientações, com medições entre 2,9 e 3,7%, correspondentes a sala leste e sudeste. Dentre as horas observadas dentro da faixa de iluminância útil, este modelo apresentou o pior desempenho médio, com valores oscilando entre 64,5%, referente à fachada noroeste, e 77,3%, correspondente à fachada sul.

Este modelo apresenta uma grande porcentagem das horas simuladas acima de 500 lux (DA), sendo o mais alto quando orientado para noroeste, onde esse valor alcançou 75,8% das horas simuladas nos pontos de medição, e o menor na fachada sul, com 63,2%.

Já o Modelo 2, representativo do período de 1980 a 1999, também apresenta altos percentuais de UDI entre 100 e 2000 lux, em alguns casos ultrapassando 80% da média dos pontos das horas simuladas no ano, como nas salas das fachadas sudeste e sudoeste, e com o valor mais expressivo na sala sul, com 82,8%. Com relação às iluminâncias abaixo de 100 lux, nesse modelo foram observados nos pontos de medição entre 5,3 e 6,6% das horas simuladas nesse intervalo, dentre todas as orientações. Entretanto, esse modelo registrou valores entre 10,9%, referente a sala sul, e 22%, relativa à sala noroeste, dos pontos de medição com valores observados com iluminâncias acima de 2000 lux, com dados, em média, inferiores apenas aos observados no Modelo 1.

No entanto, os valores de DA se mantem numa faixa entre 46,1 e 58,9% dos horários simulados nos pontos com iluminâncias acima de 500 lux, muito provavelmente influenciado pelo tipo de vidro utilizado nesse período (bronze) com índices apenas de 53% com relação à transmitância à luz visível.

O Modelo 3, primeiro representante do período de 2000 a 2016, apresenta baixos valores para DA, de 25,2 a 34,5% das horas simuladas, provavelmente em função do seu percentual de abertura de fachadas ser menor, 40%, e do tipo de vidro utilizado (reflexivo), com baixo percentual de transmitância, não propiciando a entrada suficiente de luz natural.

Com relação aos intervalos da UDI, esse modelo é o único que apresenta, em todas as orientações simuladas, maiores percentuais de horas com iluminâncias insuficientes do que as consideradas excessivas. Foram observadas iluminâncias abaixo de 100 lux entre 18 e 27,5% das horas simuladas, enquanto as simulações com iluminâncias acima de 2000 lux foram registradas entre 2,2 e 9,6% dos horários. Já a faixa de iluminância útil se manteve entre 69,9 e 73,1% das horas simuladas, com média superior somente ao Modelo 1. Entretanto, uma característica interessante observada é que esse modelo apresentou a menor diferença entre

as iluminâncias registradas de 100 a 2000 lux dentre as orientações simuladas. Enquanto a diferença encontrada entre as orientações dos outros modelos se manteve entre 12 e 16%, este modelo apresentou uma diferença inferior a 5% entre o melhor e o pior desempenhos nessa métrica.

Ao se observar os modelos tendo como valores de análise as médias dos resultados obtidos para as orientações, é possível perceber maiores valores de UDI útil entre 100 e 2000 lux no Modelo 4, alcançando valores entre 73,6 e 87,8% das horas simuladas, justificado pelo grande percentual de abertura de sua fachada (PAF 100%), fazendo com que grande parcela de iluminância entre na sala. Porém, seu vidro reflexivo não permite um grande percentual de autonomia de luz natural estabilizando seus valores entre 39,8% e 54,4%.

Esse último modelo, segundo representante do período mais recente do levantamento, também apresentou baixos percentuais médios de horas simuladas com iluminâncias abaixo de 100 lux, entre 6,0 e 7,6% dos horários. Com relação às iluminâncias acima de 2000 lux, os valores variaram bastante entre as orientações, sendo observadas de 4,8 a 16,4% das horas simuladas.

Na comparação geral entre os modelos, com relação às faixas de UDI, pode-se perceber um pequeno aumento de UDI desejável (100 a 2000 lux) do Modelo 4, quando comparado aos outros edifícios, o que indica a influência do grande PAF associado a um vidro de baixa transmitância à luz visível. Esse fato pode ser melhor observado na Figura 5, onde são apresentadas as simulações referentes à fachada sul, que alcançou o maior percentual de horas simuladas na faixa de iluminância útil. Esta tipologia também tem como característica baixos valores para iluminância excessiva, só não sendo menor que o Modelo 3 pois este apresenta o mesmo tipo de vidro que o Modelo 4 porém menores percentuais de abertura de fachada (40%).

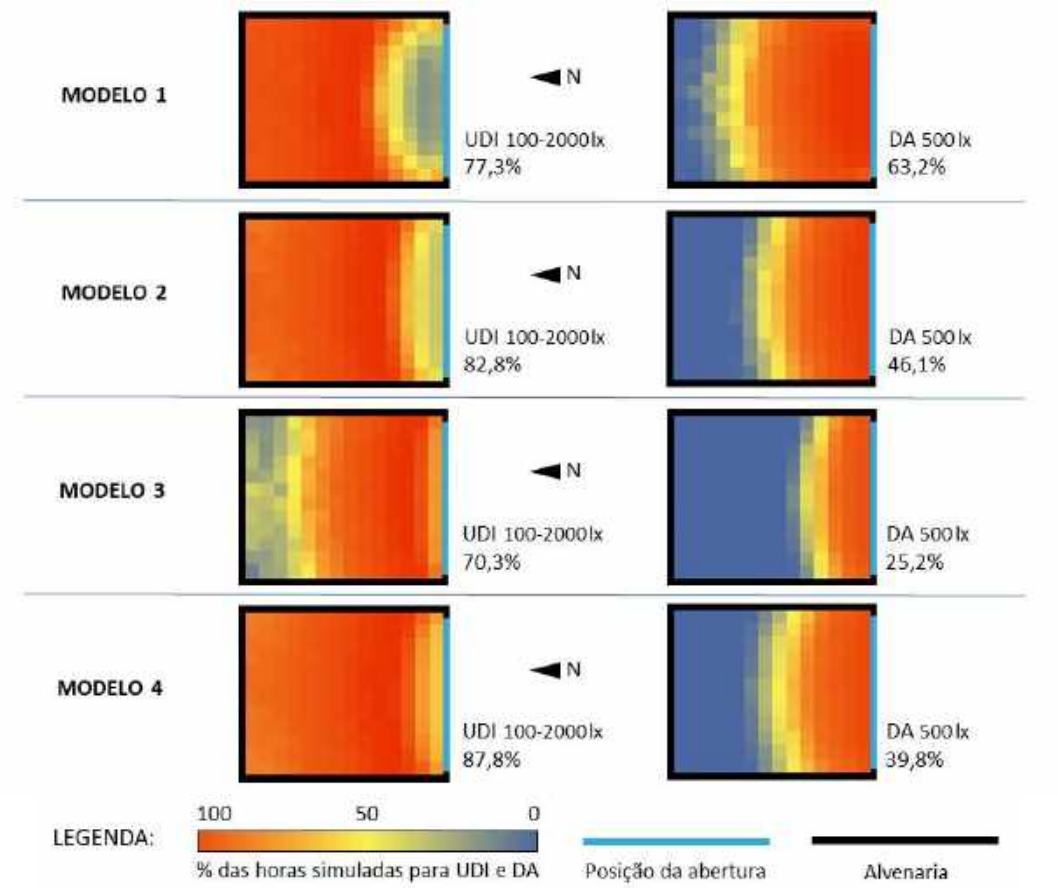


Figura 5: Comparação da distribuição do percentual de UDI (100-2000 lux) e DA (500 lux) no plano de trabalho entre as salas da fachada Sul dos 4 modelos representativos

Outra ponderação a ser feita com relação à métrica UDI é que no Modelo 3 os valores de insuficiência de iluminância (abaixo de 100 lux) são bem maiores do que qualquer outro modelo, inclusive comparados ao Modelo 2 que utiliza o vidro bronze em fachada, provavelmente em virtude dos 10% a mais de PAF e da transmitância dos vidros.

Nas salas orientadas para norte, os valores de DA estão entre os maiores percentuais alcançados, em virtude da trajetória solar ser mais presente nessa parcela da abóbada celeste, aumentando os níveis de iluminância registrados no interior dos edifícios, sendo o Modelo 1 o único que registra percentuais de DA maiores que os de iluminância útil, conforme exemplos simulados na orientação norte (Figura 6).

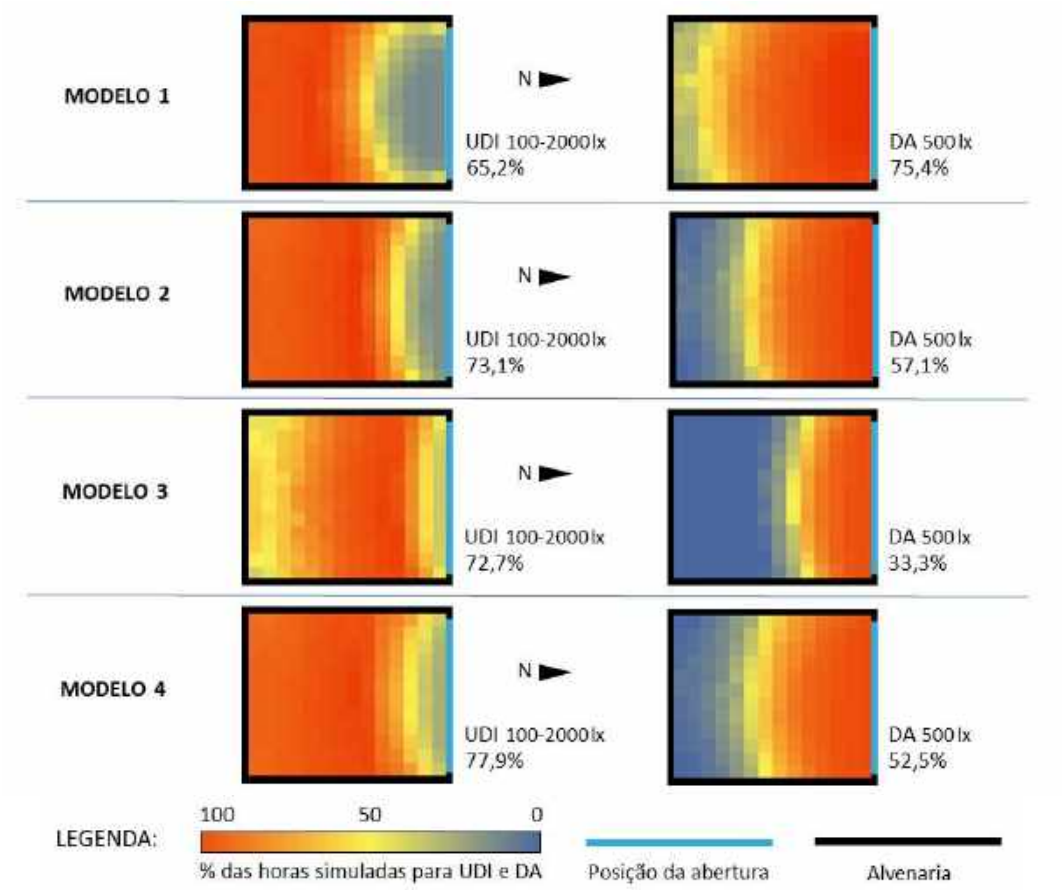


Figura 6: Comparação da distribuição do percentual de UDI (100-2000 lux) e DA (500 lux) no plano de trabalho das salas da fachada Norte dos 4 modelos representativos

Ao se comparar os modelos, percebe-se uma involução quando analisada a métrica de DA (>500 lux) ao longo do tempo, pois no Modelo 1, que é representativo dos anos de 1950 a 1979 este índice médio é de 70,7%, já no Modelo 2, correspondente aos anos de 1980 a 1999, este valor médio diminui para 53,5%, enquanto no Modelo 3, representativo dos anos 2000 a 2016, é de 30,5%. No Modelo 4, também referente a este último período, o valor chega a subir levemente, devido ao maior percentual de abertura, porém não ultrapassa os valores dos Modelos 1 e 2 (Figura 7).

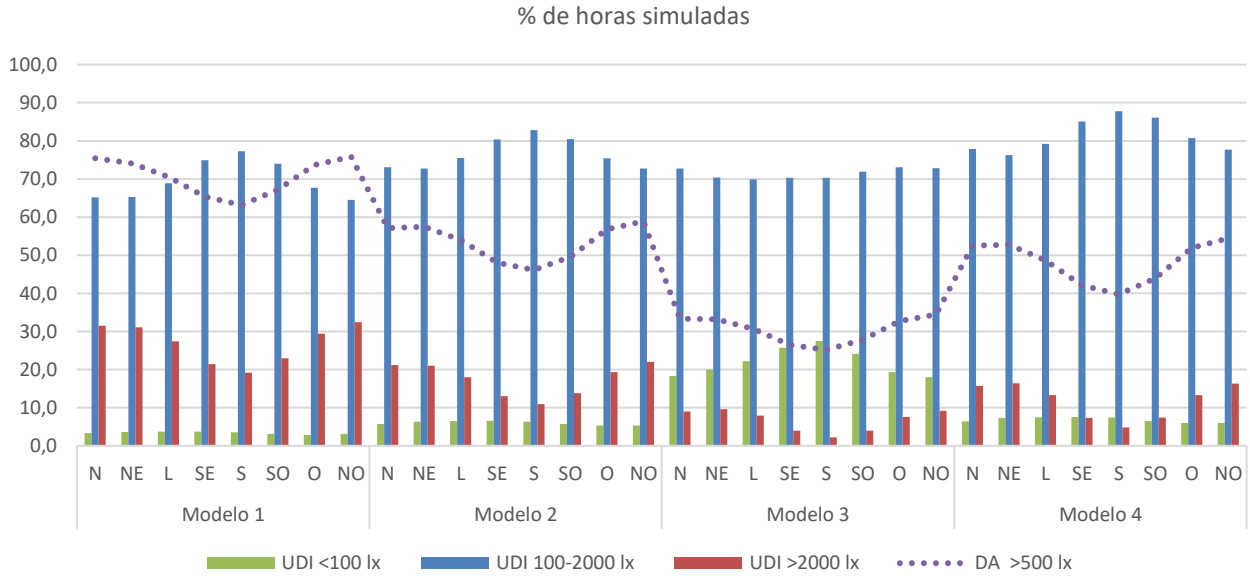


Figura 7: Gráfico de comparação dos quatro modelos.



Figura 8: Gráfico de análise de UDI e DA das médias de todos os modelos simulados com relação à orientação das fachadas.

Ao analisarmos os dados por orientação, através de uma média geral de todos os modelos, constatou-se que em todos os modelos de referência simulados sem obstrução do entorno, os maiores valores de iluminâncias excessivas estão relacionados às fachadas Leste, Nordeste, Norte, Noroeste e Oeste. Essa mesma característica é observada para a métrica de DA, o que pode estar diretamente influenciados pela trajetória solar referente à cidade de Vitória (20ºS).

Já os valores úteis de UDI tendem a migrar para as fachadas do sentido oposto, quais sejam, Sudeste, Sudoeste, e Sul (Figura 8). Esta última fachada, inclusive, foi a única que apresentou maiores percentuais médios de iluminâncias insuficientes do que as registradas na faixa que pode acarretar desconforto por brilho excessivo, ou seja, acima de 2000 lux.

5. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que uma combinação entre o PAF e o tipo de vidro utilizado nas fachadas das edificações pode proporcionar alterações significativas dos percentuais de iluminância no interior dos ambientes.

Os resultados desta pesquisa obtidos nas simulações métricas em DA e UDI permitiram apontar que em edificações com PAF 100% e vidro com transmissividade de 35%, referente ao modelo representativo de 2000 a 2016, há um melhor aproveitamento da luz natural ao nível do plano de trabalho dos usuários. Isso ocorre pois há pequena porcentagem de insuficiência luminosa e de brilho excessivo, combinada com altos valores de iluminação útil, além de 48% do tempo médio das simulações registradas com autonomia de luz acima de 500 lux. Já os modelos simulados com PAF 40% e com vidro incolor, representativo dos edifícios do período mais remoto, de 1950 a 1979, alcançou maiores percentuais de DA, devido a transmissividade de 88% do vidro simulado.

Entretanto, faz-se necessário em trabalhos futuros a avaliação da distribuição da uniformidade da luz nestes espaços, principalmente em edificações com altos valores de percentual de abertura de fachada.

Ademais, este estudo faz parte de uma pesquisa mais ampla, que almeja analisar o comportamento da luz natural em edifícios de escritórios na cidade de Vitória – ES, em que serão discutidos posteriormente a influência do entorno obstruído no desempenho luminoso dos modelos bem como, a uniformidade de luz no interior das salas de escritórios individuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARSENAUT, H.; HÉBERT, M.; DUBOIS, M. C. Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. **Building and Environment**, n. 56, p. 223-231, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15215-4: Iluminação natural – Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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

BAVARESCO, M. V., 2016. **Influência da interação dos usuários com elementos internos de sombreamento na eficiência energética de edificações comerciais.** Dissertação de Mestrado UFSC. Santa Catarina, 2016

BERNABÉ, A. C. A. **A influência da envoltória no consumo de energia em edifícios comerciais artificialmente climatizados na cidade de Vitória-ES**. 130p. Dissertação de Mestrado. UFES. Vitória, 2012.

CARTANA, R. P.; PEREIRA, F. O. R.; MAYER, A. Estudo piloto para análise de elementos de controle solar com formas complexas. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14.., 2017, Balneário Camboriú. **Anais ...** Balneário Camboriú: ENCAC, 2017

CASAGRANDE, B. G. **Cenários climáticos futuros: diagnóstico prospectivo do desempenho termoenergético de edifícios comerciais no Brasil para o século XXI**. 135p. Dissertação de Mestrado. UFES. Vitória, 2013.

CAVALERI, M. P. M; CUNHA, G. R. M; GONÇALVEZ, J. C. S; 2018. Iluminação natural em edifícios de escritórios: Avaliação dinâmica de desempenho para São Paulo. **Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v.9, n.1, p.19-34, mar. 2018.

CHOZ, J.; LOFTENESS, V.; AZIS, A. Post occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guide lines. **Energy and Buildings**, v. 46, p. 167-175, 2012.
CORDEIRO, A. C. A. et al. O uso de simulação computacional para a análise de desempenho lumínico em uma sala de escritório, utilizando os cobogós como uma segunda pele. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14.., 2017, Balneário Camboriú. **Anais ...** Balneário Camboriú: ENCAC, 2017.
DIDONÉ, E. L.; PEREIRA, F. O. R. Simulação computacional integrada para a consideração de luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 139-154, 2010.
FASSINA, S. P. **Qualificação dos dispositivos de fachada quanto à disponibilidade de luz natural: o caso do instituto federal do Espírito Santo.** Dissertação de mestrado. UFES. Vitória 2017.
GARCIA, D. L. R.; SILVEIRA, V. C.; PEREIRA, F. O. R. Simulações térmicas e lumínicas aplicadas em projeto de edifício comercial. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 17., 2018, Foz do Iguaçú. **Anais** ... Porto Alegre: ANTAC, 2018.
LIMA, A. V. P.; LEDER, S. M.; NODA, L. Estudo lumínico em um edifício de escritórios: um estudo de caso em clima quente e úmido. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14., 2017, Balneário Camboriú. **Anais ...**Balneário Camboriú: ENCAC, 2017.
MAIOLI, R. N.; BARROS, M. C. S. L. S. B.; BARROS, J. D. P.; MOCA, I. F. F.; CONINCK, I. M.; PAGEL, E. C. A transformação da fachada na tipologia construtiva de edifícios comerciais verticais em Vitória - ES e sua relação com o conforto ambiental. In: Marcia Regina Werner Schneider Abdala. (Org.). Complementaridade: Arquitetura, Engenharia e Construção. 1ed.Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
MAIOLI, R. N.; TAUFNER, M. D.; ALVAREZ, C. E. A influência das prateleiras de luz no aproveitamento da luz natural sob obstrução externa. **Revista de Arquitectura**, n. 16 , p. 105-113, 2014. doi: 10.14718/ RevArq.2014.16.12
MAIOLI, R. N. **Avaliação da influência do dispositivo prateleira de luz no conforto visual em edificação comercial com entorno obstruído**. 133p. Dissertação de Mestrado. UFES. Vitória, 2014.
MORAES, L. N.; PEREIRA, F. O. R. Um método simplificado para avaliação do desempenho dinâmico da iluminação natural. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 11., 2011, Buzios. **Anais...** Buzios: ENCAC, 2011
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.
REINHART, C. F. Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds. **Solar Energy**, 77:1 pp. 15-28, 2004.
RIZZARDI, A. F.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Avaliação de comportamento luminoso em edificação residencial com fachada envidraçada por meio de simulação computacional. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14., 2017, Balneário Camboriú. Anais ...Balneário Camboriú: ENCAC, 2017.
RODRIGUES, E. A. N. et al. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 7-23, abr./jun. 2015.
SANTOS, L. S. **Requisitos de iluminação natural nos sistemas de avaliação de edifícios e impactos energéticos em edificações comerciais no Brasil**. Dissertação de mestrado. UFES. Vitória, 2012.
SOLEMMA LLC. **Diva for Rhino: Environmental Analysis for Buildings**. Disponivel em:<http://diva4rhino.com./> Acesso em: abr 2019.
SOUZA, M. C.; GRIGOLETTI, G.; VAGHETTI, M. O. Avaliações dinâmicas da iluminação natural em protótipo de habitação de interesse social. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 14., 2017, Balneário Camboriú. **Anais ...**Balneário Camboriú: ENCAC, 2017.
VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura**. São Paulo: Geros, 2001. 362p.