

ILUMINAÇÃO NATURAL E RENDIMENTO DOS USUÁRIOS NO ED. INFINITY TOWER

Jéssica Rhaianne Correia (IC) e Erika Ciconelli de Figueiredo (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackpesquisa

RESUMO

O emprego de fachadas envidraçadas em edifícios comerciais tornou-se amplamente difundido ao contribuir tanto para a aparência quanto para a eficiência energética por meio do uso da iluminação natural. Estudos sobre a importância do uso da luz do dia em ambientes de trabalho têm se concentrado na redução do consumo de energia elétrica para iluminação e da carga térmica de edifícios comerciais. Entretanto, uma linha de pesquisa internacional tem demonstrado que a luz natural também exerce um papel importante nos aspectos físicos, fisiológicos e psicológicos do ser humano pelo chamado ritmo circadiano, influenciando no rendimento e produtividade dos usuários de edifícios comerciais. A partir de um levantamento de informações apresentadas pelos principais autores, que discutem a relação entre iluminação natural, bem-estar e produtividade, o presente trabalho propõe o estudo de um edifício significativo para o cenário paulistano, o edifício Infinity Tower. A partir da análise das influências do entorno e levantamento de dados dos vidros empregados no edifício, foi desenvolvido um modelo virtual do 18º andar para analisar a disponibilidade de iluminação natural no interior do pavimento tipo e sua relação com o rendimento dos usuários, verificando áreas de possível ofuscamento nas estações de trabalho.

Palavras-chave: Iluminação Natural. Pele de Vidro. Ritmo Circadiano.

ABSTRACT

The use of glazed facades in commercial buildings has become widely diffused by contributing to both appearance and energy efficiency throughout the use of daylight. Studies on the importance of daylight use in office environments have focused on reducing the consumption of electric energy for lighting and the thermal load of commercial buildings. However, an international research line has shown that daylight also plays an important role in the physical, physiological and psychological aspects of the human being by the so-called circadian rhythm, influencing the yield and productivity of commercial building users. Based on researches presented by the main authors discussing the relationship between daylight, well-being and productivity, the present work proposes the study of a significant building for the São Paulo scenario, the Infinity Tower building. An 18 th floor model was developed to analyze the availability of daylight inside the chosen floor and its relation with the users'

productivity and areas subject to glare.

Keywords: Daylight. Glazed Facades. Circadian Rhythm.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda mundial de energia gera danos ambientais que tornam vitais a busca por soluções alternativas e uso consciente dos recursos naturais. É necessário que os projetos arquitetônicos cada vez mais façam uso de energias renováveis e sejam energeticamente eficientes (GREENPEACE, 2007 apud FERREIRA; SOUZA, 2011).

Segundo uma pesquisa realizada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), 60% do consumo de energia elétrica mundial é provocado por edifícios residenciais e comerciais (LEVINE et al., 2007 apud GONÇALVES; BODE, 2015).

No Brasil, os edifícios comerciais são responsáveis por 15,4% do total nacional em razão do consumo de ar-condicionado (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014), sendo a iluminação artificial o segundo maior gasto energético, representando 22% do consumo total do país (ELETROBRAS, 2004 apud GONÇALVES; BODE, 2015).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2014 apud FIGUEIREDO, 2016), em janeiro de 2012 o setor comercial da região sudeste consumiu 3.512.097 MWh, e em 2014, no mesmo período, 4.289.955 MWh, o que representa um aumento de 22% (FIGUEIREDO, 2016).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), um edifício é eficiente quando proporciona as mesmas condições ambientais que outro, com menor consumo de energia. A luz natural é uma fonte de energia abundante e sem custo, que ainda é pouco aproveitada, principalmente no Brasil, onde sua disponibilidade é grande (FERREIRA; SOUZA, 2011). Entretanto a viabilidade desse uso está relacionada a fatores diversos como, por exemplo as dimensões das aberturas e a transmissão luminosa dos vidros, que influenciam diretamente no desenvolvimento das tarefas visuais. A distribuição inadequada da iluminação natural pode ocasionar excesso de luminâncias próximo às aberturas, resultando em contrastes excessivos e causando o ofuscamento (GRIGOLETTI; BEVILACQUA; PICADA, 2007).

O modelo de envoltória de edifício de escritório mais recorrente na cidade de São Paulo é a pele de vidro. O edifício Infinity Tower, projetado pelo escritório americano KPF, com participação de Aflalo/ Gasperini Arquitetos, em 2008, é um edifício que não foge à regra. Esta edificação utiliza vidros de controle solar, sendo que sua fachada principal é inclinada e laterais curvas, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 Fachada Principal:



Fonte: ARCHDAILY, 2012, s/p.

A obra possui 18 pavimentos e está localizada no encontro entre as ruas Leopoldo Couto de Magalhães Júnior, Rua Horácio Lafer e Clodomiro Amazonas, no Itaim Bibi, a duas quadras da Av. Brigadeiro Faria Lima, importante centro financeiro da capital. Inaugurado em 2012, atualmente é ocupado por grandes empresas internacionais como *Apple*, *Facebook*, *Bloomberg*, *GTIS Partners*, Banco ABN, *Credit Suisse* e *Goldman Sachs* (HELM, 2012).

As várias exigências em relação às especificações das fachadas do edifício resultaram na aparência do vidro (azul levemente acinzentado), eficiência energética do edifício, conforto dos usuários e redução dos custos operacionais de manutenção a longo prazo. As fachadas foram desenvolvidas com sistema unitizado com vidros *low-e* e brises lineares, que reforçam o formato curvo da edificação, cuja composição final foi decisiva para a eficiência energética do edifício, que buscava obter a Certificação LEED Gold (GELINSKY, 2012).

A justificativa dos arquitetos por grandes áreas envidraçadas nas fachadas é o contato visual com o exterior e, o acesso à luz natural (FIGUEIREDO, 2016). A luz natural tem ganhado importância nos projetos de arquitetura devido aos seus benefícios aos usuários dos edifícios e na economia de energia. A variação de tons da luz proporciona uma variação nos hormônios e neurotransmissores, podendo aumentar a sensação de alerta e bem-estar (LOCKLEY 2008 apud SHARMAN; ROBERTS, 2008). A preocupação com a redução do absenteísmo e o aumento da produtividade pode ser observada de diversas formas: nos sistemas de certificação; nos discursos dos arquitetos; e até mesmo na normatização de alguns países. Na Alemanha, por exemplo, todos os funcionários do edifício devem ter acesso visual para o exterior (DAVIES; LAMBOT, 1997 apud FIGUEIREDO, 2011).

A luz natural é “[...] o sinal ambiental mais importante que informa ao nosso corpo que horas são” (LOCKLEY apud SHARMAN; ROBERTS, 2008, s/p) e sua influência no ritmo circadiano tem sido tópico constante em debates de pesquisas nacionais e internacionais por sua relação com diversos problemas de saúde (MARTAU, 2015). O ritmo circadiano é a adaptação do corpo humano às percepções de luz (dia) e escuridão (noite) em um período

de aproximadamente 24 horas (LOCLEY, 2007).

Segundo Lockley (2007), diversos aspectos relacionados à fisiologia e o comportamento humanos como saúde e bem-estar são regulados pelo ritmo circadiano. Os ritmos de temperatura corporal e a produção de hormônios, como a melatonina e o cortisol, são exemplos de ciclos influenciados pelas oscilações claro-escuro.

Impressionadas pela luminosidade, as células da retina disparam através dos nervos óticos uma mensagem elétrica que alcança o hipotálamo, na base do cérebro. Além de comandar as glândulas do organismo, o hipotálamo possui um pequeno núcleo onde se localiza o relógio biológico, considerado essencial à manutenção dos ritmos. A luminosidade do dia impede de trabalhar a glândula pineal, localizada na área dorsal do cérebro e comandada pelo hipotálamo. Desbloqueada à noite – pois a luz artificial é muito fraca para produzir o mesmo efeito -, ela começa a liberar um hormônio, a melatonina[...] (OLIVEIRA, 2016, s/p).

Parte do conforto dos usuários está relacionado ao desempenho lumínico, pois, “a eficiência visual aumenta com a iluminância” (GRIGOLETTI; BEVILACQUA; PICADA, 2007, p. 23), entretanto os contrastes de luminâncias podem causar desconforto visual. Portanto, a “adaptação do edifício de acordo com a necessidade dos usuários e suas atividades, do ponto de vista da luz natural, deve ser considerada, pois favorece o aumento da qualidade de vida no interior do edifício” (FIGUEIREDO, 2016, p. 179).

Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é simular o 18º pavimento tipo do Infinity Tower, analisar o desempenho do edifício quanto à luz natural e ressaltar a influência da distribuição de iluminação natural no rendimento dos usuários.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para estimular o uso de estratégias sustentáveis foram desenvolvidas certificações para empreendimentos que considerem, dentre outros, critérios de racionalização de recursos, como água e energia. A certificação LEED, do inglês *Leadership in Energy and Environmental Design*, é um sistema de certificação concebido e concedido pela Organização não governamental americana, a U.S. Green Building Council (USGBC). Desde 1998 diversos projetos ao redor do mundo buscam essa certificação, pois “[...] é um símbolo globalmente reconhecido de conquista de sustentabilidade” (LEED, 2018, s/p).

Para Boyce, Hunter e Howlett (2003), o uso de iluminação natural como principal fonte de luz em edifícios é de interesse daqueles preocupados com a conservação de energia, porque se presume que minimize o uso de eletricidade para iluminação. No entanto, é difícil justificar o custo dos extensos panos de vidro com base apenas na economia de energia. É

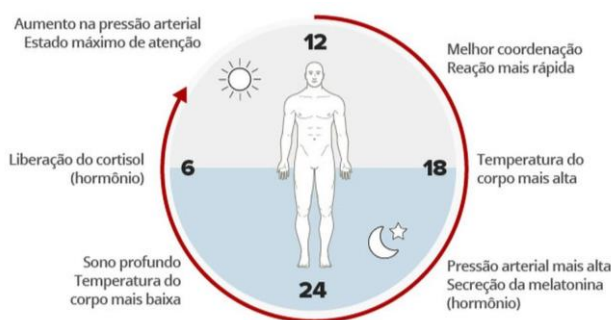
necessário demonstrar que o uso da iluminação natural tem impacto financeiro benéfico para a organização que possui e/ou ocupa a construção, pois o uso da luz do dia influencia no desempenho e produtividade no local de trabalho e na saúde humana, trazendo retorno financeiro sobre o investimento.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (1946), a saúde não consiste apenas na ausência de doença ou de enfermidade, mas caracteriza-se como um estado de completo bem-estar físico, mental e social. Levando em conta esses aspectos, deve-se considerar que a luz exerce poderosos efeitos não visuais em uma ampla gama de funções e comportamentos biológicos. Nos seres humanos, a luz está intuitivamente ligada a um estado de alerta ou vigília (CAJOCHEN, 2007).

Para Lockley, Arendt e Skene (2007), a correlação bioquímica principal do ciclo claro-escuro é fornecida pelo ritmo de melatonina pineal. Em condições normais de luz e escuridão, a melatonina é produzida apenas durante a noite, e fornece uma representação interna do fotoperíodo ambiental. A exposição à luz no período noturno inibe a produção de melatonina e fornece um aviso de entrada de luz para o sistema nervoso central. A estreita relação temporal entre o sistema nervoso central e a produção de melatonina dita o ritmo de supressão ou suplementação desse hormônio, muitas vezes usado como um marcador da fase circadiana (LOCKLEY; ARENDT; SKENE, 2007).

Hall, Rosbash e Young descobriram o mecanismo fisiológico que sustenta o “relógio biológico” ao isolar, em 1984, o gene que regula o ritmo circadiano e descreverem o funcionamento da proteína produzida por ele, mostrando um mecanismo de “*feedback*” responsável pela regulação de todo o sistema, como indica a Figura 2 (G1, 2017).

Figura 2 “Feedback” no ritmo circadiano:



Fonte: G1, 2017, s/p.

Lim et al. (2017) concluíram em suas pesquisas que mais de 65% dos usuários dos edifícios avaliados preferiam luz do dia em suas estações de trabalho no escritório, confirmando os resultados obtidos por Hirning et al. (2016) em seis edifícios de escritórios estudados. Os estudos também apontaram que, do ponto de vista da economia de energia,

as estratégias iluminação natural empregadas nos edifícios são eficazes em mais de 40%. No entanto, é preocupante que na avaliação visual pós-ocupação cerca de 20% dos ocupantes não estejam satisfeitos com o brilho da tarefa para papel ou atividades realizadas no computador. Em seu artigo, Lim et al (2017) concluem que há uma discrepância no uso do fator de luz do dia para justificar um espaço de escritório bem iluminado, já que não encontrou relação perceptível entre economia de energia, avaliação visual dos ocupantes e reflexos de desconforto.

Aries (2003) evidenciou dados relevantes sobre os benefícios da luz do dia. Em suas averiguações a autora ressalta que ao projetar uma iluminação de escritório saudável, tanto a iluminância horizontal como a iluminação vertical (ou retinal) devem ser usadas como parâmetros de projeto, pois a quantidade de luz que entra no olho humano não está diretamente relacionada à iluminância horizontal no plano de trabalho. A autora indica que iluminâncias horizontais superiores a 500 lx foram encontrados em 90% dos casos estudados, atendendo aos critérios de iluminação visual. E aponta que a maioria dos funcionários de escritório (85%) estava (muito) satisfeita com a iluminação na sala. Portanto, iluminações horizontais acima de 500 lx foram consideradas satisfatórias para os funcionários dos escritórios estudados. A iluminação da maior parte dos escritórios estudados pela autora não atende aos critérios de iluminação verticais (assumidos como 1.000 lx no olho). Iluminâncias verticais superiores a 1.000 lx foram medidas em apenas 20% dos casos. As pessoas com uma estação de trabalho com menores níveis de iluminância vertical indicaram mais fadiga e parece, portanto, relacionada com a nível de iluminância vertical ao nível dos olhos. Pessoas com uma estação de trabalho com níveis mais baixos indicaram pior qualidade do sono e, portanto, a qualidade do sono parece relacionado ao nível de iluminância vertical ao nível dos olhos (ARIES, 2003).

Por meio de uma simulação com o Software Radiance, Aries (2003) aplicou valores (1.000 e 2.000 lx) que atendessem às demandas visuais e psicobiológicas dos seres humanos sem causar desconforto visual (*cell offices*) e constatou que nos ambientes estudados, aumentar a iluminância vertical para 1.000 lx não influenciou aceitação de indivíduos. Aproximadamente 85% das pessoas do teste tinham avaliações de satisfação de "neutro" para "satisfeito" para os dois conceitos nas diferentes estações do ano. Nos ambientes analisados, aumentar a iluminância vertical para 2.000 lx influenciou a aceitação. Para 2.000 lx, a porcentagem de indivíduos satisfeitos diminuiu e chegou a 56%. O nível 2.000 lx também foi considerada alta para muitos indivíduos. A variação nos índices de satisfação entre os níveis de iluminância testados é principalmente explicado por variáveis relacionadas à luminância (incômodo, reflexão e ambiência) (ARIES, 2003). Portanto, os experimentos de Aries (2003) sugerem que iluminâncias a partir de 500 lx são consideradas satisfatórias para

os seres humanos, porém para a manutenção dos ritmos circadianos, valores entre 1.000 e 2.000lx são os mais indicados sendo os últimos menos aceitos pelos indivíduos devido às variáveis do ambiente que podem gerar incômodos como o ofuscamento.

Hoffmann et al. (2007) investigaram o impacto de diferentes condições de iluminação natural (500 -1800 lx, 6500 K; 500 lx, 4000 K) no humor subjetivo, em uma acomodação de escritório experimental, e concluíram que a luz variável exerce vantagem potencial no interior das acomodações de escritório em relação ao humor subjetivo em comparação com a luz regular. Esta pesquisa demonstra como a variação de tons da luz, característica da luz natural, influencia no comportamento dos usuários.

Boyce, Hunter e Howlett (2003) destacam que:

- Não há garantia de que a luz do dia seja sempre bem-sucedida na maximização do desempenho visual. A luz do dia pode causar desconforto visual através do brilho e da distração, e pode diminuir os estímulos que a tarefa apresenta ao sistema visual, produzindo reflexos de brilho ou sombras.
- O desempenho de tarefas visuais e não visuais será afetado por interrupções do sistema circadiano humano. A exposição à luz excessiva durante a noite e à pouca luz durante o dia provoca um desarranjo no sistema circadiano. Um sistema circadiano interrompido também criará problemas de saúde a longo prazo.
- Condições de iluminação diferentes podem alterar o humor dos ocupantes de um edifício. As janelas são amplamente preferidas nos locais de trabalho para a luz do dia e a exibição que elas fornecem, desde que não causem desconforto visual ou térmico ou perda de privacidade. O problema básico para o dia-a-dia é que o humor está sujeito a tantas influências que, a menos que a iluminação seja realmente desconfortável, sua influência provavelmente será ofuscada por muitos fatores como motivação, satisfação no trabalho, competência técnica e capacidade de executar as tarefas.

Konis (2013), baseado no edifício estudado em São Francisco, Califórnia, elenca recomendações praticáveis por edifícios para melhorar o desempenho da iluminação natural interna das edificações:

- Prover dispositivos de sombreamento externos, chapas perfuradas ou telas, com profundidade suficiente a fim de conseguir um ângulo de corte solar suficiente para bloquear completamente a radiação direta para o interior para a maioria das horas ocupadas, preservando a visão parcial;
- Fornecer estações de trabalho que permitam aos ocupantes ajustar facilmente sua tarefa principal em resposta às mudanças diárias e sazonais na posição do sol e nas

condições do céu. Fornecer acesso a dispositivos de sombreamento internos fáceis de controlar e capazes de completamente bloquear a visão do disco solar;

- Incorporar modelos comportamentais de controle de sombra e indicadores de brilho de desconforto em simulações de desempenho anual de iluminação natural no início do projeto para desenvolver uma avaliação ampla da gama de transmissão luminosa para o interior do edifício, oferecendo controle solar e conforto para os usuários.

É importante ressaltar que o comportamento humano no interior dos edifícios pode variar, mesmo quando os estímulos são os mesmos, devido à diferentes tolerâncias e preferências de conforto (YAN et al., 2017).

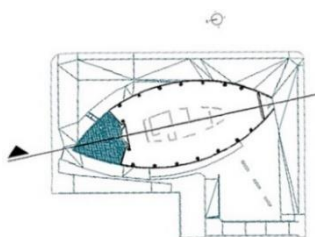
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

1. Levantamento do referencial teórico envolvendo conceitos teóricos e práticos em livros, artigos, normas da ABNT, teses, dissertações, revistas e sites especializados;
2. Levantamento iconográfico nos sites dos escritórios envolvidos e publicações em revistas especializadas em arquitetura para obter as plantas, cortes e detalhes de composição da fachada do edifício Infinity Tower;
3. Obtenção dos dados dos vidros do edifício Infinity Tower;
4. Redesenho da planta e desenvolvimento dos cortes do pavimento tipo no programa Revit;
5. Redesenho do pavimento tipo do edifício no software Relux;
6. Aplicação dos dados das refletâncias nas superfícies internas do modelo;
7. Aplicação da transmissão luminosa dos vidros no modelo;
8. Simulações computadorizadas de iluminação natural no software Relux;
9. Análise e comparação dos resultados das simulações com os referenciais teóricos estudados para a verificação da influência dos vidros no desempenho dos usuários;
10. Discussão dos resultados;
11. Redação preliminar;
12. Correção e formatação da redação final.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

O edifício foi modelado no software Revit e dele foi possível extrair a planta do pavimento tipo (Figura 4) e o corte do edifício (Figura 4). Os andares do edifício Infinity Tower possuem 3,20m de pé direito livre (Figura 5) (CORBIOLI, 2012, s/p).

Figura 3 Planta Infinity Tower 18º andar



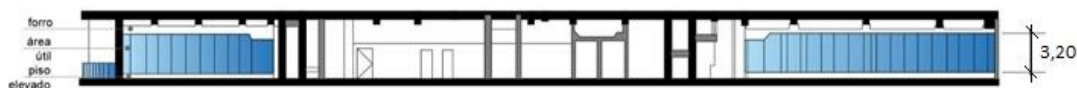
Fonte: a partir de AFLALO/GASPERINI ARQUITETOS, 2015, s/p.

Figura 4 Corte longitudinal Infinity Tower



Fonte: a partir de AFLALO/GASPERINI ARQUITETOS, 2015, s/p.

Figura 5 Corte Infinity Tower 18º andar:

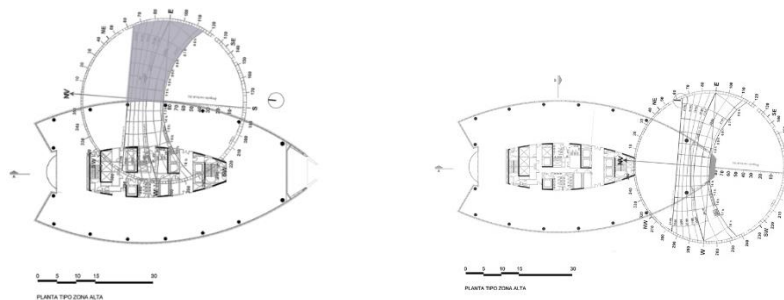


Fonte: a partir de Aflalo/Gasperini Arquitetos, 2015, s/p.

A partir da construção do modelo, estudos foram realizados para compreender a disposição dos vidros e composição com os brises de 40cm de largura, produzidos a partir de chapas de alumínio perfuradas.

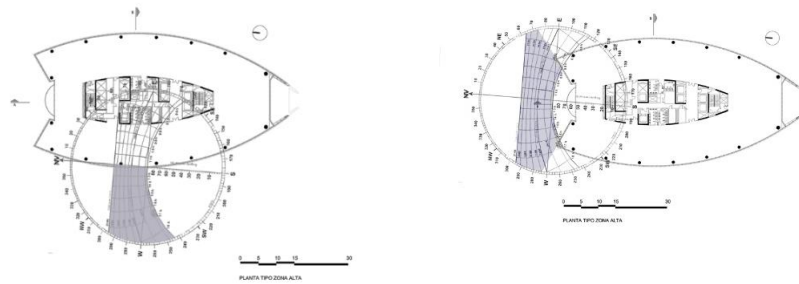
O estudo de insolação foi realizado com o auxílio de uma carta solar latitude 24° sul e do software SketchUp. As análises com a carta solar apresentadas na Figura 6 e Figura 7 indicam que as respectivas fachadas recebem incidência solar nas quatro estações do ano:

Figura 6 Análise de insolação Infinity Tower fachada nordeste 86º e sudeste 176º:



Fonte: Acervo próprio, 2018, s/p.

Figura 7 Análise de insolação Infinity Tower fachada sudoeste 266º e noroeste 356º:



Fonte: Acervo próprio, 2018, s/p.

O resultado das análises se encontra na tabela abaixo:

Tabela 1 Insolação no Edifício Infinity Tower:

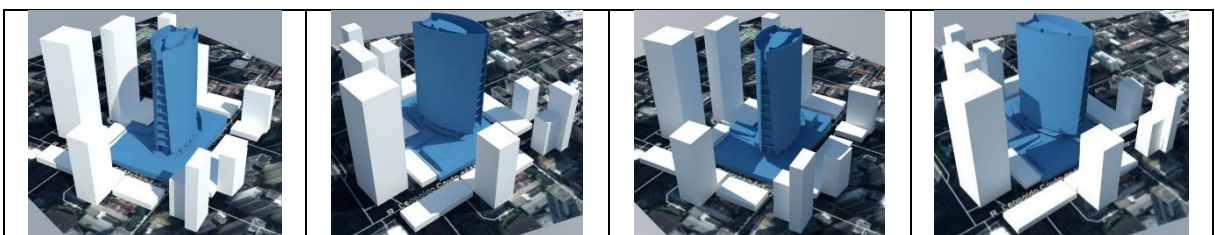
FACHADA	SOLSTÍCIO DE VERÃO (21/12)		SOLSTÍCIO DE INVERNO (21/06)		EQUINÓCIOS (21/03, 21/09)	
	Início	Término	Início	Término	Início	Término
NORDESTE 86°	5h05	12h05	6h45	12h10	6h00	12h05
SUDESTE 176°	10h30	13h45	não há		não há	
SUDOESTE 266°	12h10	18h45	12h10	17h15	12h05	18h00
NOROESTE 356°	8h30	16h30	6h45	17h15	7h45	17h30

Fonte: Autoria própria, 2018, s/p.

De acordo com os resultados expostos Tabela 1, é possível inferir os períodos de insolação nas fachadas do edifício Infinity Tower, ao longo do dia, nos solstícios e equinócios. Nos horários escolhidos para as simulações, às 9h e 15h, no solstício de verão, as fachadas nordeste e sudeste estarão sob incidência solar. As fachadas sudoeste e noroeste estarão apenas às 15h. No solstício de inverno, a fachada noroeste receberá insolação, às 9h e 15h, a fachada nordeste apenas às 9h e a sudoeste somente às 15h. Na fachada sudeste, não há insolação. Nos equinócios, a fachada noroeste tem incidência solar às 9h e 15h. As fachadas nordeste e sudoeste apenas às 15h. Na fachada sudeste também não há insolação.

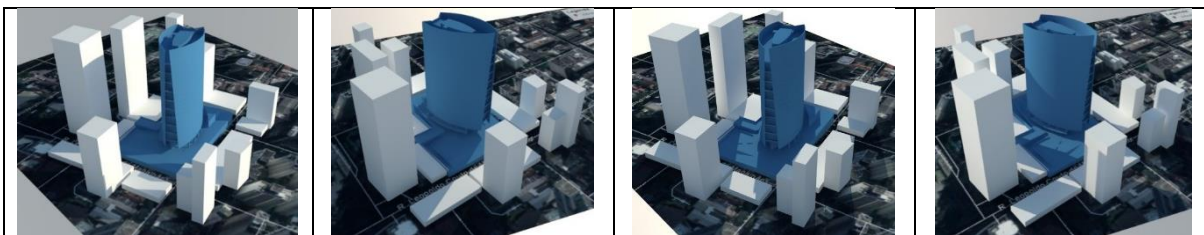
O SketchUp foi utilizado para desenvolver o estudo de sombras do entorno no edifício. Foram levantadas volumetrias dos principais edifícios que circundam o Infinity Tower. O modelo foi georreferenciado manualmente e ajustado quanto ao Norte verdadeiro. Os resultados dos estudos podem ser observados abaixo nas Figura 8, Figura 9, Figura 10 e Figura 11.

Figura 8 Insolação Infinity Tower – Solstício de verão - 21/12 -9h00 e 15h00



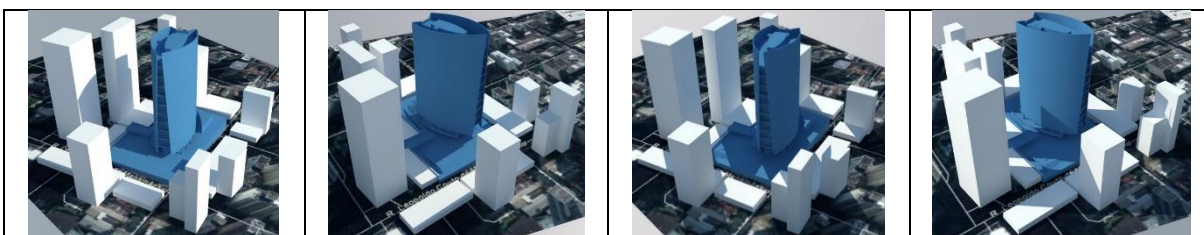
Fonte: Acervo próprio, 2018, s/p.

Figura 9 Insolação Infinity Tower – 21/06 Solstício de inverno - 9h00 e 15h00:



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Figura 10 Insolação Infinity Tower – Equinócio de outono - 21/03 -9h00 e 15h00:



Fonte: Acervo próprio, 2018.

Figura 11 Insolação Infinity Tower – Equinócio de primavera -21/09 - 9h00 e 15h00:



Fonte: Acervo próprio, 2018.

As análises de entorno confirmam os dados observados com a carta solar e demonstram que os edifícios do entorno interferem na porção de céu visível do edifício Infinity Tower predominantemente na fachada sudoeste entre o térreo e décimos pavimentos, no período da tarde. Nota-se, também, que apesar de um entorno verticalizado, o Infinity Tower provoca mais interferências nos edifícios adjacentes do que o contrário.

Nas simulações de iluminação natural do pavimento tipo foram empregados vidros com transmissão luminosa de 35%, de acordo com as especificações na Tabela 2 Vidros aplicados no Edifício Infinity Tower: na Tabela 2.

Tabela 2 Vidros aplicados no Edifício Infinity Tower:

Dados do vidro aplicado nas fachadas do Edifício Infinity Tower											
Fabricante	Código	Espessura (mm)	TL	RLe	RLi	TE	RE	AE	FS	CS	Valor u (W/m ² °c)
GlassecViracon	GA 119	12	35%	29%	24%	25%	27%	48%	36%	0,42	5,52

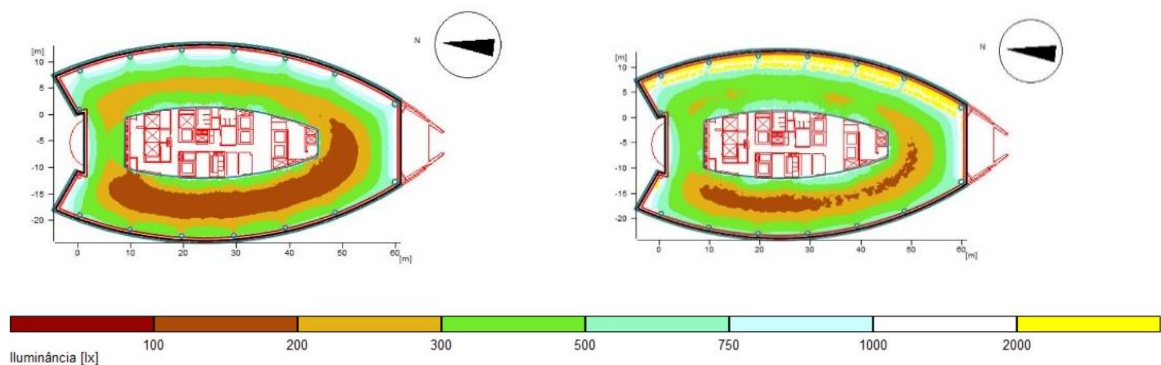
Fonte: A partir de GlassecViracon, 2018, s/p.

Os estudos de iluminação foram elaborados para o 18º andar do edifício, pois é o

último andar tipo, e, portanto, o pavimento com maiores áreas sujeitas ao ofuscamento.

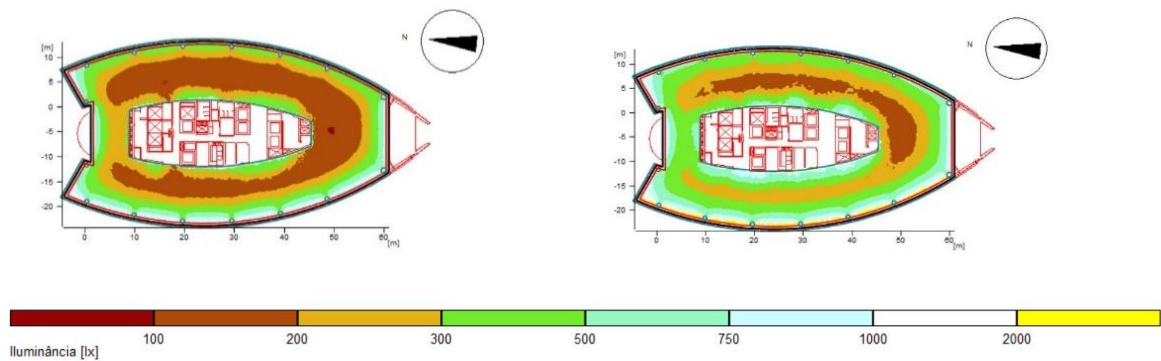
As simulações foram desenvolvidas no software Relux Suite a partir do cálculo raytracing, empregando céu intermédio CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) e céu intermédio com sol CIE. As análises foram realizadas considerando os dados do edifício e o norte verdadeiro. O estudo foi elaborado com plano de trabalho a 0,75m de altura, sujidade do vidro de 0,9 e com sensores de medição a cada 0,50m. Os resultados apresentados pelo programa relacionam as cores e os níveis de iluminância (lx) e são apresentados na legenda abaixo das imagens:

Figura 12 Solstício de verão - distribuição da iluminação natural sem sol/ com sol às 9h:



Fonte: Acervo próprio, 2018, s/p.

Figura 13 Solstício de verão - Distribuição da iluminação natural sem sol/ com sol às 15h.

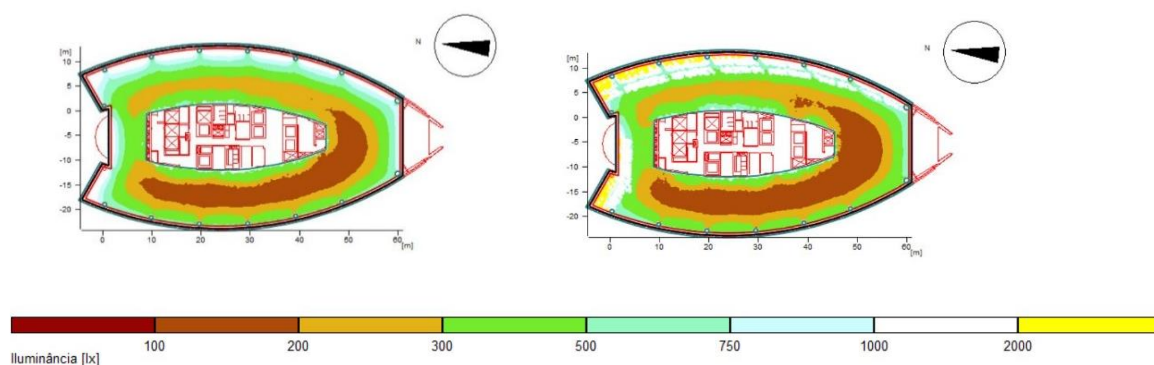


Fonte: Acervo próprio, 2018 s/p.

As Figura 12 e Figura 13 expõem, respectivamente, os resultados das simulações às 9h e 15h no solstício de verão. Às 9h, é possível identificar valores superiores a 1.000 lx até aproximadamente 3,00m da fachada nordeste, onde foram medidos até 3.670 lx em céu intermédio com sol. Nas fachadas sudeste e sudoeste há uma zona com luminâncias entre 100 e 300 lx entre 2,30 e 7,90m dos panos envidraçados. Em dias sem sol é possível encontrar nos espaços entre 5,00 e 8,00m de distância das fachadas iluminâncias entre 100 e 300 lx. Analisando a distribuição de iluminâncias no solstício de verão às 15h, verificam-se valores predominantemente entre 100 e 300 lx nas zonas centrais, entre 4,00 e 8,00m de distância das aberturas. Em dias de céu intermédio com sol, zonas entre o sudeste e nordeste

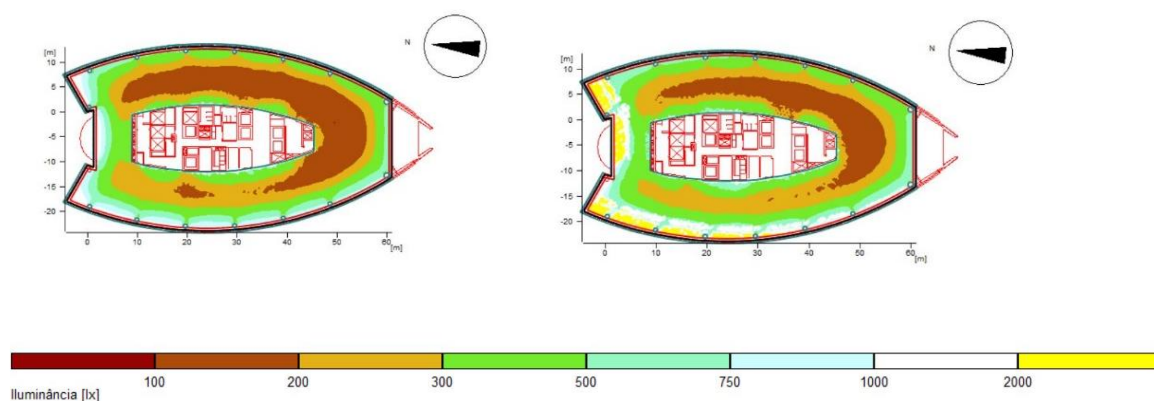
apresentaram valores entre 500 e 2.700 lx em até 2,50m das fachadas.

Figura 14 Solstício de inverno - distribuição da iluminação natural sem sol/ com sol às 9h:



Fonte: Acervo próprio, 2018, s/p.

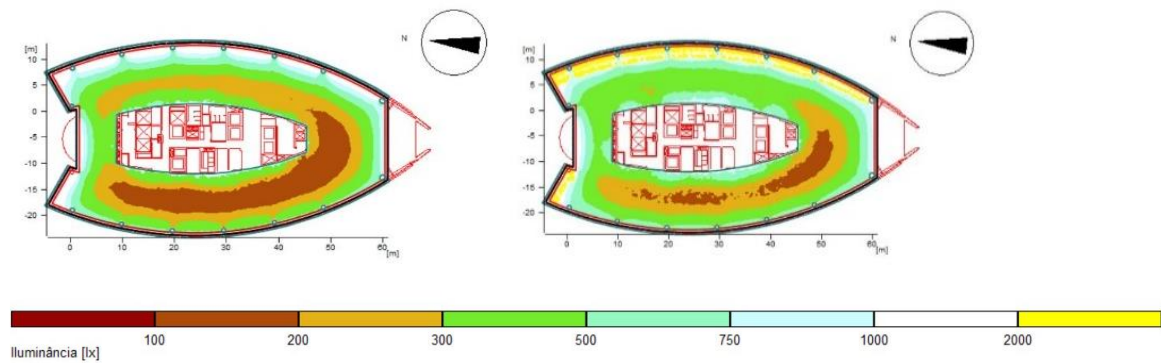
Figura 15 Solstício de inverno - distribuição da iluminação natural sem sol/ com sol às 15h:



Fonte: Acervo próprio, 2018, s/p.

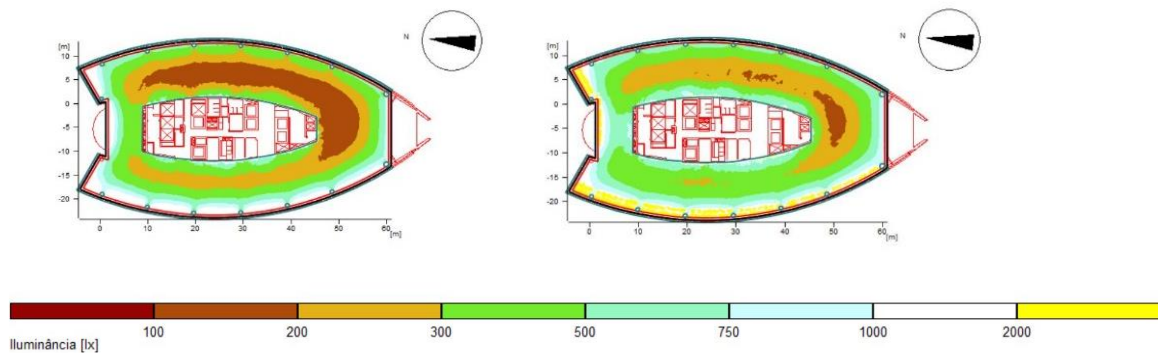
As Figura 14 e Figura 15 apresentam os resultados referentes às simulações nos solstícios de inverno às 9h e 15h. Às 9h, a área próxima ao núcleo de circulação vertical do 18º andar, entre aproximadamente 2,00 e 10,00m das aberturas apresenta iluminâncias de até 300 lx. Nas proximidades dos panos de vidro, os sensores encontraram valores superiores a 500 lx, alcançando mais de 1.000 lx nas fachadas noroeste e nordeste sem sol e acima de 2.000 lx em dias com sol. Nota-se que às 15h, entre 3,50 e 9 m das fachadas envidraçadas, há valores entre 100 e 300 lx. Até 3,00m da pele de vidro, as iluminâncias são superiores a 300 lx. Nas fachadas noroeste e sudoeste, até 2,50 m das fachadas, os valores ultrapassam 1.000 lx nos dias sem sol. Considerando céu intermédio com sol foram medidos mais de 2.000 lx.

Figura 16 Equinócio de outono - distribuição da iluminação natural sem sol/ com sol às 09h:



Fonte: Acervo próprio, 2018, s/p.

Figura 17 Equinócio de outono - distribuição da iluminação natural sem sol/ com sol às 15h:



Fonte: Acervo próprio, 2018, s/p.

As simulações para as 9 e 15h nos equinócios de outono estão representadas nas Figura 16 e Figura 17, respectivamente. Considerando o céu intermédio sem sol, às 9h, as zonas centrais, entre 2,00 e 9,00m das fachadas apresentaram valores entre 100 e 300 lx. Próximo aos panos de vidro da fachada nordeste, até pouco mais de 3,00m os valores são superiores a 500 lx, chegando a mais de 1.000 lx. Às 9h, com sol, as regiões centrais do pavimento apresentam valores entre 100 e 300 lx entre 4,00 e 9,00 m das fachadas. Em até aproximadamente 2,20m da fachada nordeste, os valores são superiores a 2.000 lx. As zonas centrais possuem luminâncias entre 300 e 500 lx. Nas fachadas sudeste e sudoeste, entre 3,20 e 8,70m das aberturas, as iluminâncias encontradas foram de 100 a 300 lx. Às 15h, o 18º andar apresenta predominantemente iluminâncias de até 300 lx entre 5,30 e 7,80m das aberturas. Nas proximidades da pele de vidro, os valores são próximos a 500 lx, com iluminâncias acima de 1.000 lx nas fachadas nordeste e sudoeste, em dias sem sol. Com sol, as zonas entre 3,50 e 9,00 m fachada sudoeste apresentam predominantemente valores entre 300 e 500 lx. Em até 1,5m de distância dos panos de vidro, os sensores revelaram iluminâncias de até 3.810 lx.

Figura 18 Equinócio de primavera - distribuição da iluminação natural sem sol/ com sol às 9h:

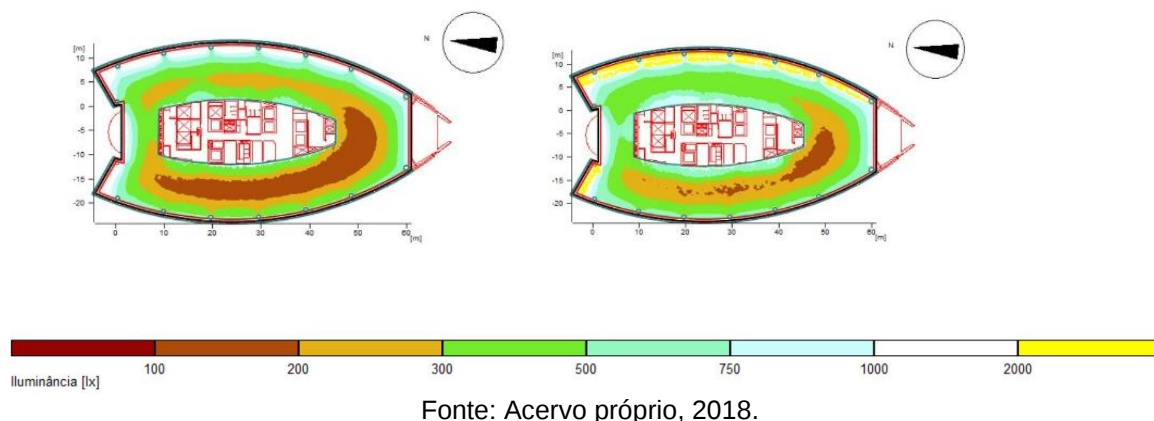
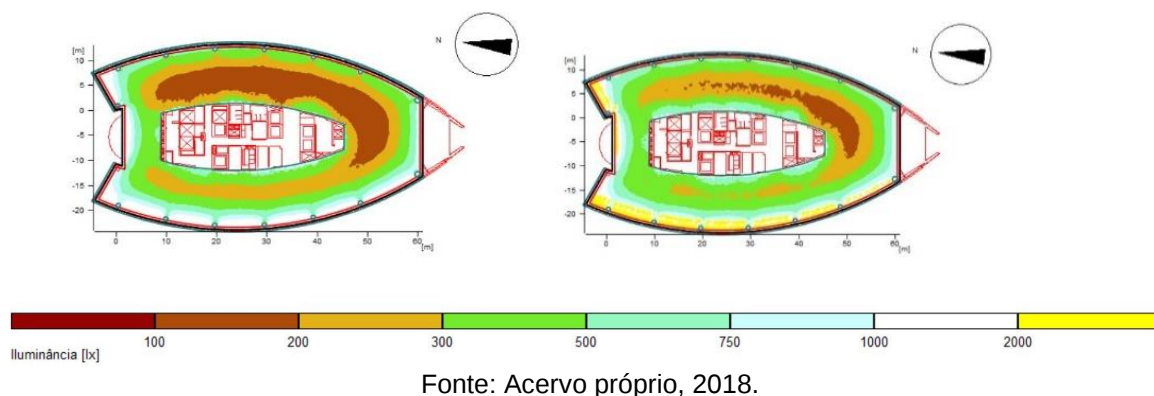


Figura 19 Equinócio de primavera - distribuição da iluminação natural sem sol/ com sol às 15h:



Os resultados das simulações para o equinócio de primavera às 9 e 15h estão apresentados nas Figura 18 e Figura 19. Às 9h, as regiões centrais do edifício entre 1,50 e 8,50m das fachadas apresentam valores de até 300 lx. Nas proximidades das fachadas, até aproximadamente 4,50m dos panos de vidro, as medições apontam iluminâncias entre 500 e pouco mais de 1.000 lx em dias sem sol, alcançando 3.870 lx nas fachadas noroeste e nordeste em dias de céu intermédio com sol. Às 15h, o pavimento analisado apresenta predominantemente valores de até 500 lx. Nas fachadas nordeste e sudeste, entre 2,00 e 10,00m das aberturas, as iluminâncias encontradas estão entre 100 e 300 lx. Nas fachadas noroeste e sudoeste até aproximadamente 1,50m das aberturas, as iluminâncias alcançaram mais de 1.000 lx em dias sem sol. Em dias de céu intermédio com sol, as iluminâncias nessas fachadas atingiram até 3.970 lx.

A NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), Norma Brasileira para Iluminação de Ambientes de Trabalho, exige que os escritórios cujos colaboradores realizem atividades como escrever, teclar, ler e processar dados assistidos ou não de computador, devem prever Iluminância mantida de 500 lx. Não há observações sobre ofuscamento por luz natural na norma ou qualquer outra diretriz.

De acordo com as simulações, a opção pelo uso da pele de vidro no Infinity Tower

possibilitou que em um mesmo pavimento seja possível obter variações notáveis entre as iluminâncias encontradas. O 18º pavimento possui valores de iluminância entre 200 e 500 lx, predominantemente. Nas proximidades das fachadas e núcleo de circulação vertical são encontrados valores entre 500 e 2.000 lx. Esses resultados indicam que, considerando a luz natural, uma parte central e significativa do andar estudado está abaixo do exigido para a iluminação de ambientes de trabalho no que diz respeito à iluminação horizontal, dificultando a execução das atividades e contribuindo para a sonolência dos colaboradores. Paradoxalmente, as proximidades das fachadas apresentam tanto situações de iluminação em conformidade com a NBR ISO/CIE 8995-1, quanto valores ideais para a manutenção do ritmo circadiano, isto é, entre 1.000 e 2.000 lx. Porém, também apontam possível ofuscamento e desconforto visual, principalmente em situações de céu claro ou pouco encoberto, e, conseqüentemente, luz solar direta. Nessas situações o usuário opta, muitas vezes, pelo fechamento das persianas, o que impede a entrada de luz natural.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de iluminação natural vai além de uma estratégia de eficiência energética. Faz parte da relação que se estabelece com o entorno, possibilitando uma regularização dos ritmos internos por meio dos estímulos causados pela luz.

Na contemporaneidade, o uso de peles de vidro como principal envoltória de edifícios comerciais possibilitou maior aproveitamento da luz natural, mas não considerou os impactos causados diretamente naqueles que utilizam esses edifícios a maior parte do tempo todos os dias.

As análises no pavimento estudado demonstraram que o uso de pele de vidro pode causar ofuscamento próximo às aberturas e, possivelmente, necessitar de persianas ou outros dispositivos de bloqueio da luz solar direta. As zonas internas (com iluminâncias abaixo de 300 lx) e próximas ao núcleo de circulação vertical do edifício, resultam em áreas escuras com alta propensão à sonolência e fadiga dos usuários.

É importante que os projetos de arquitetura contemplem além das questões relacionadas à eficiência energética, considerando os aspectos visuais e não visuais da luz, o bem-estar, conforto visual, e, a partir dessas premissas, a produtividade e rendimento dos usuários.

6. REFERÊNCIAS

AFLALO/GASPERINI ARQUITETOS (São Paulo). **Infinity Tower**. 2008. Disponível em: <<http://aflalogasperini.com.br/blog/project/infinity-tower/>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

ÁRIES, M. **Human Lighting Demands: Healthy Lighting in an Office Environment**. 2005. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Architecture, Building And Planning., Building Physics And Systems, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2005. Disponível em: <<http://alexandria.tue.nl/extra2/200512454.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 54 p.

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. **The Benefits of Daylight through windows**. Lighting Research Center. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, 2003. 88 p. Disponível em: <<http://thedaylightsite.com/wp-content/uploads/papers/DaylightBenefits.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

CAJOCHEN, C. Alerting effects of light. **Sleep Medicine Reviews**, v. 11, n. 6, p.453-464, dez. 2007. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/5909439_Alerting_effects_of_light>. Acesso em: 21 mar. 2017.

CONSTITUIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS/WHO) - 1946. Disponível em: <<http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/OMS-Organização-Mundial-da-Saúde/constituicao-da-organizacao-mundial-da-saude-omswho.html>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

CORBIOLI, Nanci. **Kohn Pedersen Fox Associates e Aflalo & Gasperini Arquitetos**: Edifício de escritórios, São Paulo. 2012. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/kohn-pedersen-fox-associates-aflalo-gasperini-arquitetos-infinity-tower-03-10-2012>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, R. V. G. Investigação sobre o potencial de economia de energia da iluminação natural. In: Encontro Nacional, 10 e Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 7., 2009, Natal. **Anais....** Natal, 2009. p. 1812 - 1815. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/270282373_INVESTIGACAO_SOBRE_O_POTENCIAL_DE_ECONOMIA_DE_ENERGIA_DA_ILUMINACAO_NATURAL>. Acesso em: 28 mar. 2017.

FIGUEIREDO, E. C. de. **Abordagem sustentável da luz natural**: análise do desenho de vãos e eficiência dos vedos translúcidos e transparentes em edifícios das cidades de São Paulo, Berlim e Frankfurt am Main durante as últimas décadas do século XX e primeira década do século XXI. 2011. 254 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/279>>. Acesso em: 16 set. 2016.

FIGUEIREDO, E. C. de. **Peles de vidro**: otimização do desempenho da luz natural difusa em fachadas envidraçadas. 2016. 192 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. Disponível em: <<http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/2881>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

GELINSKY, Gilmar. **Kohn Pedersen Fox e Aflalo & Gasperini**: Infinity Tower. 2012. Disponível em: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/arquitetura/kohn-pedersen-fox--aflalo>>.

-gasperini-infinity-tower-sao-paulo>. Acesso em: 15 mar. 2018.

GLASSEC VIRACON. **Infinity Tower**. 2008. Disponível em: <<http://www.glassecviracon.com.br/portfolio/obra/infinity-tower>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

GRIGOLETTI, Giane de Campos; BEVILACQUA, Décio; PICADA, Getúlio de Souza. **DAU2062 CONFORTO AMBIENTAL II: Iluminação**. Santa Maria, 2007. 71 p. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/lasac/Caderno - Conforto II.pdf](http://coral.ufsm.br/lasac/Caderno_-_Conforto_II.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2017.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

HOFFMANN, G. et al. Effects of variable lighting intensities and colour temperatures on sulphatoxymelatonin and subjective mood in an experimental office workplace. **Applied Ergonomics**, v. 39, n. 6, p.719-728, nov. 2008. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/5685843_Effects_of_variable_lighting_intensities_and_colour_temperatures_on_sulphatoxymelatonin_and_subjective_mood_in_an_experimental_office_workplace?ev=srch_pub>. Acesso em: 20 mar. 2017.

G1. **Trio americano leva Nobel de Medicina por pesquisas sobre 'relógio biológico'**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/trio-leva-nobel-de-medicina-por-pesquisa-sobre-ritmo-circadiano.ghtml>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

HELM, Joanna. **Infinity Tower / KPF e Aflalo & Gasperini Arquitetos**. 2012. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-73554/infinity-tower-kpf-e-aflalo-e-gasperini-arquitetos>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

KIM, J. et al. Desk ownership in the workplace: The effect of non-territorial working on employee workplace satisfaction, perceived productivity and health. **Building And Environment**, v. 103, p.203-214, jul. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301628081_Desk_ownership_in_the_workplace_The_effect_of_non-territorial_working_on_employee_workplace_satisfaction_perceived_productivity_and_health>. Acesso em: 22 mar. 2017.

KONIS, K. et al. Evaluating daylighting effectiveness and occupant visual comfort in a side-lit open-plan office building in San Francisco, California. **Building and Environment**, v. 59, p.662- 677, jan. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257171872_Evaluating_daylighting_effectiveness_and_occupant_visual_comfort_in_a_side-lit_open-plan_office_building_in_San_Francisco_California?ev=srch_pub>. Acesso em: 23 mar. 2017.

KUMAR, G. K.; BABU, T. P. A. Study of Various Glass Materials to Provide Adequate Day Lighting in Office Buildings of Warm and Humid Climatic Zone in India. **Energy Procedia**, Bhubaneswar, v. 109, p.181-189, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315442473_Study_of_Various_Glass_Materials_to_Provide_Adequate_Day_Lighting_in_Office_Buildings_of_Warm_and_Humid_Climatic_Zone_in_India>. Acesso em: 23 mar. 2017.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/ Procel, 2014. 382 p. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2017.

LEED USGBC. **LEED is green building**. 2018. Disponível em: <<https://new.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

LIM, G. et al. Daylight performance and users' visual appraisal for green building offices in Malaysia. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 141, p.175-185, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.028>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313866980_Daylight_Performance_and_Users'_Visual_Appraisal_for_Green_Building_Offices_in_Malaysia>. Acesso em: 22 mar. 2017.

LOCKLEY, S. W.; ARENDT, J.; SKENE, D. J. Visual Impairment and circadian rhythm disorders. **Dialogues in Clinical Neuroscience**, v. 9 (3), set. 2007. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3202494/>>. Acesso em: 01 set. 2016.

MARTAU, B. T. O conceito de luz circadiana e suas implicações na arquitetura. In: Reunião Anual da SBPC, 67., 2007, São Carlos, Sp. **Anais....** Porto Alegre: Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura – Propar, 2015. p. 1 -5. Disponível em: <http://www.sbpnet.org.br/livro/67ra/PDFs/arq_3954_1900.pdf>. Acesso em: 31 out. 2016. OLIVEIRA, L. H. de. **A cronobiologia e os ritmos do homem**. 1989, página atualizada em 2016. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/saude/a-cronobiologia-e-os-ritmos-do-homem/>>. Acesso em: 30 out. 2016.

SHARMAN, C. H.; ROBERTS, J. E. **Dispositivos ajudam esclarecer papel da luz na saúde**. Scientific American Brasil, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/dispositivos_ajudam_esclarecer_papel_da_luz_na_saude.html>. Acesso em: 30 out. 2016.

YAN, da et al. IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 156, p.258-270, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.084>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320046407_IEA_EBC_Annex_66_Definition_and_Simulation_of_Occupant_Behavior_in_Buildings>. Acesso em: 16 jul. 2018.

Contatos: jessicarhianne@hotmail.com e erika.figueiredo@mackenzie.br