

INFLUÊNCIA DA ILUMINAÇÃO NATURAL NO AMBIENTE ESCOLAR NO RITMO CIRCADIANO DOS ALUNOS

Ana Luiza de Mello Ward (IC) e Erika Ciconelli de Figueiredo (Orientador)

Apoio:PIBIC Mackpesquisa

RESUMO

Este trabalho teve como finalidade investigar salas de aula de um colégio de ensino médio, a fim de estabelecer relações entre as condições de iluminação na sala de aula e o desempenho escolar e bem-estar dos alunos. Foram escolhidas 3 salas de aula de uma instituição, nas quais foram feitas medições *in loco* (iluminância) e simulações computadorizadas com auxílio da ferramenta ALFA, a fim de analisar os estímulos não-visuais da luz e como ela afeta o ritmo circadiano dos alunos presentes nas salas. Na pesquisa foram adotadas para essas salas duas condições de iluminação para a comparação: iluminação natural e iluminação artificial. A iluminação natural é a principal reguladora do ritmo circadiano, também compreendido como o relógio biológico, e seus efeitos não visuais vêm sendo estudados com maior ênfase nas últimas décadas. O bom funcionamento do ritmo circadiano é importante, pois promove o bem-estar e uma rotina mais saudável, além de auxiliar na prevenção de doenças, como a depressão. A partir das medições e simulações realizadas, concluiu-se que o ambiente provido de iluminação natural favorece a regulação do ritmo circadiano, em comparação com iluminação artificial, aumentando o estado de alerta e, consequentemente, o bom desempenho escolar dos alunos.

Palavras-chave: Iluminação natural. Ritmo circadiano. Escola.

ABSTRACT

This research paperwork aimed to investigate the classrooms of a high school, to establish relationships between the lighting conditions in the classroom and the academic performance and well-being of the students. Three classrooms of an institution were selected, where measurements were made *in loco* (illuminance and dimensions) and computer simulations were run in ALFA plug-in, to analyze the non-visual stimulation of light and how it affects the circadian rhythm of the students in the room. In the research, two lighting conditions were adopted for these rooms for comparison: daylighting and artificial lighting. Daylight is the main regulator of the circadian rhythm, also known as the biological clock, and its non-visual effects have been studied with greater emphasis in recent decades. The proper functioning of the circadian rhythm is important because promotes well-being and a healthier routine, as well as it prevents illnesses such as depression. From the measurements and simulations carried out, it was concluded that the environment provided with daylighting favors, compared to artificial

lighting, the regulation of the circadian rhythm, increasing the alertness and, consequently, the good academic performance of the students.

Keywords: Daylight. Circadian rhythm. School.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação natural interatua com os seres humanos em três grandes áreas: visão, saúde e estado mental (BERTOLOTTI, 2007). De acordo com Boyce (1998), a exposição à luz é o mais poderoso estímulo para a sincronização do ritmo circadiano.

O ritmo circadiano pode ser compreendido como um relógio biológico. De acordo com Hall, Rosbash e Young (1984) apud Huang (2018), laureados pelo prémio Nobel 2017, por suas descobertas de mecanismos moleculares que controlam o ritmo circadiano, a vida terrestre é capaz de sincronizar seu organismo com a rotação da Terra e definir suas funções biológicas, tais como o comportamento, os níveis hormonais, o sono, a temperatura corporal e o metabolismo, de maneira muito distinta ao longo das diferentes fases do dia. De acordo com Duffy e Czeister (2009), o ritmo circadiano dura aproximadamente vinte e quatro horas e é reiniciado todos os dias, sendo dividido em dois períodos: noite e dia, durante os quais as funções vitais se alternam num ritmo decrescente durante a noite e crescente durante o dia.

De acordo com Boyce (1998) apud Bertolotti (2007), o estímulo luminoso que atinge a retina é transformado em estímulo nervoso. O núcleo supraquiasmático ativa a glândula pineal, responsável pela produção da melatonina – conhecido também por hormônio do sono - que é o principal hormônio regulador do ritmo circadiano. De acordo com Bryan (1998), as funções hormonais da melatonina, em comparação com as de outros hormônios que seguem um ciclo de 24 horas, estão entre as mais importantes pois, a melatonina induz o sono, modifica o humor, a agilidade mental e participa das atividades do sistema reprodutor. Durante o aumento da disponibilidade da luz natural, a liberação da melatonina é gradativamente reduzida e o córtex adrenal faz a secreção do hormônio cortisol, que aumenta a produção de adrenalina, estimula o sistema nervoso, impacta na quebra de carboidratos, no desenvolvimento de glóbulos brancos e na regulação da pressão sanguínea, além de suprimir a produção da serotonina (que é um neurotransmissor que atua no cérebro regulando o humor, sono, apetite, ritmo cardíaco, temperatura corporal e a sensibilidade a dor).

Até o fim do século XX, eram conhecidas apenas duas células fotossensíveis no olho humano, cones e bastonetes, mas no início do século XI foi descoberta um terceiro tipo de fotorreceptor, as células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis chamadas de ipRGCs (Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells). De acordo com Lok (2011) apud Figueiredo (2021), essas células além de desempenharem um papel na visão, são responsáveis por sincronizar o ritmo circadiano e parecem permitir que a iluminação do ambiente influencie em processos cognitivos como memória e aprendizagem. Esses fotorreceptores apareceram estar relacionados com a produção de melatonina pelo encéfalo humano, de acordo com Betina Martau (2009).

Esse receptor não está relacionado com a visão, mas, juntando-se a outro fotopigmento, chamado melanopsina, e através de um processo bioquímico, ele controla a glândula pineal (localizada no cérebro) para produzir um importante hormônio chamado melatonina, que controla muitas funções biológicas (MARTAU, 2009, p. 2)

Se o organismo for exposto inadequadamente à luz, seja por excesso ou por insuficiência, seu ritmo circadiano pode ser afetado resultando em consequências adversas na performance das atividades durante o dia e em sua saúde e bem-estar (LOCKELEY; PECHACEK; ANDERSEN, 2008). Se o indivíduo for completamente cego, incapaz de perceber a luz, de acordo com Martinez *et al.* (2007), também está suscetível a alterações em seu ritmo circadiano e distúrbios do sono, pois os estímulos não chegam à glândula pineal para ativar a produção de melatonina.

Com a evolução da tecnologia, entretanto, a qualidade da iluminação artificial teve um aumento significativo. Isso afetou diretamente a arquitetura dos espaços, diminuiu a necessidade de grandes aberturas, eventualmente criando até espaços isentos de iluminação natural (ARIES; AARTS; VAN HOOF, 2013). Segundo Figueiredo (2011) apud Willis (1995), a configuração dos edifícios e a distribuição interna está agora atrelada apenas à criatividade do arquiteto e aos fatores financeiros. Além disso, as jornadas de trabalho e estudo puderam ser ampliadas para o período noturno e o ser humano se habituou a ter uma rotina regida por suas próprias necessidades.

Como resultado das modificações dos hábitos humano de trabalho e descanso, que leva ao uso prolongado da iluminação artificial, aumentando o período do dia ou da fase clara, ou a permanência em espaços com baixos níveis de iluminação, os indivíduos estão sofrendo alterações na sua saúde (MARTAU, 2009, p.1)

Essas alterações físicas e psicológicas, ocasionadas pela iluminação, foram observadas por Edwards e Torcellini (2002) em seus estudos sobre a iluminação adequada para salas de aula, e concluíram que a presença da iluminação natural ajuda a melhorar a frequência, os resultados acadêmicos e a redução do nível de stress dos alunos. Em contrapartida, em ambientes isentos de iluminação natural, os alunos tendem a ser mais hostis e a se mostrarem menos interessados pelas atividades durante as aulas.

O objetivo dessa pesquisa é avaliar como os alunos são estimulados de maneira não-visual em uma sala com iluminação natural lateral e comparar com os estímulos obtidos na mesma sala somente com iluminação artificial, para verificar a influência da luz natural no rendimento dos alunos e no seu ritmo circadiano, bem-estar e desempenho dos alunos do Ensino Médio de um colégio no centro da cidade de São Paulo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os primeiros registros de estudos sobre o ritmo circadiano são do século XVIII, feitos pelo astrônomo Jean Jacques d'Ortous de Mairan que observando o comportamento das plantas “mimosa” descobriu uma relação entre seu comportamento fisiológico e as duas fases do dia, a fase clara e a fase escura. Quase duzentos anos depois, em 1971, uma descoberta importante foi feita pelo neurocientista Seymour Benzer e seu aluno Ronald Konopka, estudando moscas com o ritmo circadiano desregulado. Eles perceberam mutações em um gene que ficou conhecido como “*period*”. De acordo com Huang (2017), em 1984, Hall, Rosbash e Young, ganhadores do prêmio Nobel em 2017, estudando o gene “*period*” e a proteína PER produzida por ele, descobriram que essa proteína se acumulava nas células durante a noite e era quebrada no início do dia, concluindo assim, que os níveis de PER aumentavam e diminuíam ao longo do ciclo diário de vinte e quatro horas, desvendando o até então desconhecido funcionamento do mecanismo que regula o ritmo circadiano.

Segundo a PhD em ritmos circadianos, Mariana Figueiro (2006), a iluminação não é mais apenas para a visão, pois evidências indicam que a ela tem efeitos no ritmo circadiano, que podem implicar na saúde e bem-estar do ser humano. Ela ainda afirma que a exposição adequada à luz nos períodos certos pode trazer benefícios como aumentar a eficiência do sono em idosos, incluindo aqueles que sofrem de Alzheimer, ajustar o ritmo circadiano dos bebês prematuros, ajudar os adolescentes a acordar cedo pela manhã e aumentar o estado de alerta dos trabalhadores noturnos. De acordo com Boyce *et al.* (2003) apud CIBSE (2020), fornecer luz natural em edifícios ajuda a alcançar os benefícios da luz diurna na regulação ritmos circadianos, que resultam em melhora da saúde e do humor. De acordo com Figueiro, Nagare e Price (2017) além da qualidade do espectro de luz, o tempo de exposição à luz também é importante para compreender o impacto da luz no ritmo circadiano. Estudos demonstram que a mesma quantidade de luz aplicada por períodos diferentes gera respostas diferentes no organismo, bem como baixos níveis de luz por um longo período pode ter o mesmo efeito para o ritmo circadiano que altos níveis de luz durante um curto período.

A relação entre o ritmo circadiano e o sono é direta, portanto, alterações no ritmo podem gerar distúrbios do sono e comprometer as funções biológicas desempenhadas pelo organismo nessa fase. De acordo com Krause *et al.* (2017), a privação de sono pode ter como consequência a queda no desempenho de atividades que exigem atenção, assim como uma redução significativa no processo de aprendizagem e memória. De acordo com Figueiro, Nagare e Price (2017) a irregularidade e insuficiência do sono em adolescentes pode se tornar crônica. O centro de controle e prevenção de doenças alega que mais de 70% das crianças que frequentam a escola dormem menos do que as 8 horas necessárias em dias letivos e que esse padrão de sono pode ser associado à depressão e problemas comportamentais.

Os jovens passam a maior parte do dia em ambientes internos, por vezes, iluminados somente com luz artificial, dessa forma, o organismo não consegue sincronizar seu ritmo circadiano com a fase clara do dia e assim o sono a performance escolar podem perder qualidade (FIGUERO; NAGARE; PRICE, 2017).

O neurocientista Matthew Walker (2019) explica que para o cérebro registrar uma nova memória, é necessário não somente dormir bem após o aprendizado, mas dormir bem também na noite anterior. De acordo com Goldstein e Walker (2014), o sono também afeta o funcionamento emocional do cérebro. Quadros de ansiedade e stress com muita frequência estão associados à distúrbios do sono, bem como esses indivíduos podem estar mais sujeitos a ter comportamento suicida. Estudos de Arsanow *et al.* (2017) com adolescentes que sofrem de distúrbios do sono comprovam que aqueles que dormem mais tarde tendem a ter um hábito alimentar altamente calórico, entretanto, quando os mesmos adolescentes regulam seu sono também apresentam melhoria em seus hábitos alimentares, optando por alimentos menos calóricos e mais ricos em nutrientes, concluindo que uma melhor qualidade de sono pode combater a obesidade na adolescência. De acordo com Crowley *et al.* (2015), o ritmo circadiano de adolescentes pré-púberes é mais responsável à luz do entardecer do que o sistema circadiano de adolescentes pós-púberes. Esse atraso na fase escura do ciclo dos adolescentes pós-púberes em comparação com adolescentes pré-púberes não é dado pelo aumento da sensibilidade à iluminação e sim ao fato de eles ficarem por mais tempo expostos à luz. Estas pesquisas também indicam que os adolescentes mais velhos têm uma resposta menor ao estímulo luminoso da manhã, e isso contribui para que o atraso do ritmo circadiano ocasionado por hábitos comportamentais se mantenha, ainda que eles estejam em um ambiente escolar bem iluminado nesse período.

Todavia, a presença da iluminação natural de qualidade em todos os ambientes infelizmente não é uma realidade, fazendo-se indispensável o uso da iluminação artificial como complemento ou até fonte única de luz. Essa situação, além de comprometer o bom funcionamento do ritmo circadiano pode causar outros problemas de saúde relacionados à qualidade do espectro de luz na iluminação artificial. De acordo com os estudos sobre o ambiente das salas de aula desenvolvido por Edwards e Torcellini (2002), a luz natural possui um grande e rico espectro, e isso auxilia o aprendizado e a execução de tarefas no ambiente escolar. Sendo assim, toda iluminação em ambientes para este fim deve se aproximar ao máximo dessa qualidade de espectro. De acordo com Liberman (1991) apud Edwards e Torcellini (2002), uma escola com iluminação insuficiente pode reduzir a capacidade de aprendizado do aluno devido ao efeito que a iluminação tem na fisiologia. Uma luz com espectro pobre pode gerar tensão nos olhos dos alunos, levando a uma queda no

processamento de informações e na capacidade de aprendizagem, causando níveis mais elevados de estresse. De acordo com Bertolotti (2007, p.35):

Pode ocorrer uma queda no desempenho visual e ser percebida como desconfortável provocando ofuscamento, fadiga visual, distrações e dores de cabeça. Apesar de serem sintomas temporários, a repetição deles pode trazer maiores perturbações à saúde e desempenho.

De acordo com Jung e Inanici (2018), é essencial medir a quantidade de luz circadiana no ambiente externo e comparar ao ambiente interno. Dessa forma, é possível entender o impacto das decisões projetuais e elaborar recomendações e manuais sobre a luz circadiana. De acordo com Andersen, Mardaljevic e Lockley (2011), um espaço iluminado naturalmente está sujeito a passar por condições variadas de luz ao longo do dia e do ano, exclusivas do local e implantação do edifício. Portanto, de acordo com as características locais e projetuais (posição, tamanho, orientação e aberturas), pode-se afirmar que cada ambiente tem um potencial circadiano único.

Potencial circadiano é o que determina como o espaço está influenciando o ritmo circadiano do indivíduo ali presente. De acordo com Andersen, Mardaljevic e Lockley (2011), o potencial circadiano é influenciado pela ocupação do espaço, pois a iluminação será circadiana de acordo com o modo pelo qual ela é detectada, variando de acordo com os hábitos que o indivíduo tem de olhar ou não em direção a luz e a influência da iluminação difusa no ambiente, resultado das reflexões da luz nas superfícies dos materiais e demais superfícies contidas no espaço. Sendo assim, conclui-se que para estimular o ritmo circadiano é necessário também analisar e projetar a ocupação da sala e compreender as variáveis comportamentais, pois um indivíduo que estiver olhando diretamente para as janelas terá um estímulo circadiano mais alto do que aquele que estiver olhando para o lado oposto às janelas.

De acordo com Miller e Irvin (2019), as relações melanópicas/fotópicas (M/P) são a nova métrica espectral a ser adotada para medir as consequências da luz na saúde, bem-estar e estado de relaxamento e alerta. A visão fotópica é a que percebe a distinção das cores e a intensidade luminosa, enquanto a melanópica se refere ao potencial melanópico. A relação M/P compara o potencial melanópico com a capacidade da fonte de luz apropriada para a visão fotópica.

Os adolescentes passam a maior parte de seu tempo em salas de aula aprendendo e executando tarefas que exigem atenção. Somado a isso, durante e após as aulas, os estudantes, principalmente as gerações atuais, fazem o uso de computadores, celulares e outros dispositivos eletrônicos que produzem luz azul. De acordo com Martau (2009), a luz branca e a luz azul proveniente desses aparelhos suprimem a produção de melatonina, o hormônio que regula o ritmo circadiano. De acordo com Crowley *et al.* (2015), o ritmo

circadiano de adolescente pré-puberes é muito sensível a estímulos luminosos, o que destaca a importância desta questão para a saúde pública.

Os efeitos adversos relatados do uso de dispositivos emissores de luz pré-sono por adolescentes incluem tempo total de sono reduzido e início do sono atrasado, uma associação que é mais forte e mais persistente para dispositivos mantidos perto do rosto, como telefones celulares e computadores (CROWLEY *et al.* 2015, s/p).

Portanto, é fundamental para o aprendizado e saúde dos adolescentes que seu ritmo circadiano esteja funcionando regularmente, bem como seu sono deve estar em dia, pois, nessa fase da vida, eles estão naturalmente sujeitos às variações hormonais, comportamentais e emocionais. A insuficiência de exposição à luz natural e o abuso do uso de dispositivos eletrônicos podem agravar essas variações e, junto a insuficiência de sono, resultar em ansiedade, stress e depressão.

3. METODOLOGIA

O método adotado abordou questões quantitativas e qualitativas a respeito da iluminação natural no ambiente de sala de aula de um colégio. A instituição escolhida para a pesquisa solicitou que seu nome fosse ocultado, portanto o pseudônimo “Colégio X” será utilizado.

A primeira etapa da pesquisa foi entrar em contato com o Colégio X por e-mail e agendar uma visita para apresentar presencialmente a proposta da pesquisa para a direção que, por sua vez, se mostrou muito interessada em participar. A proposta inicialmente apresentada à direção era para fazer medições quantitativas das dimensões de duas salas de aulas distintas, uma com iluminação natural e outra sem, em seguida, aplicar o teste ELISA, que determina as concentrações de cortisol livre em amostras de saliva dos alunos que frequentavam as salas selecionadas. Entretanto, com a pandemia da Covid-19, foi necessário modificar a segunda parte da pesquisa, que tinha como propósito compreender como aquela condição afetava o ritmo circadiano dos estudantes e, consequentemente, o estado de alerta e desempenho escolar. Então, foi apresentada à direção uma nova proposta: a primeira parte da pesquisa de campo seria medir as dimensões e a iluminância de três salas de aula distintas, todas com iluminação natural e a segunda etapa seria substituída por um experimento virtual com o auxílio da ferramenta ALFA que gera respostas tão precisas quanto o teste ELISA, porém sob um novo viés. Nessa segunda etapa, além da simulação com iluminação natural, foram realizados experimentos com as mesmas salas em uma situação noturna, na qual só haveria a iluminação artificial. A ferramenta analisa os efeitos não visuais da luz e classifica os pontos simulados em 3 parâmetros: estado de alerta, estado de relaxamento e nenhum dos dois. A modificação na proposta foi aprovada pela direção do

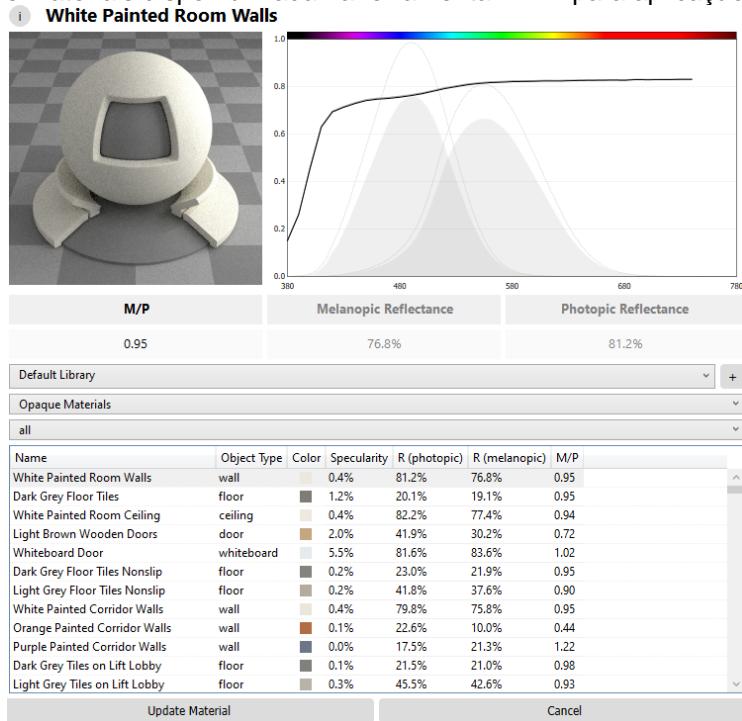
Colégio X e então a visita ao colégio foi agendada para o dia 22 de janeiro de 2021 às 10 horas da manhã. O método empregado foi:

- 1- Escolha de três salas de aula com dimensões e condições de iluminação natural distintas, isto é, salas com janelas sem brises, janelas com brises, sendo as fachadas com orientações distintas, frequentadas por alunos de ensino médio.
- 2- Levantamento das características das salas como dimensões, número de carteiras, materialidade, localização, tamanho de aberturas, disposição dos brises quando presentes, quantidade de luminárias e tipo de lâmpada, a fim de redesenhar virtualmente essas salas (plantas, cortes, elevações e modelo 3D). Para fazer esse levantamento, foram utilizadas trenas manual e a laser e foram tiradas fotografias.
- 3- Medição da luminosidade só com iluminação natural e com iluminação natural e artificial em ao menos 5 pontos em cada sala com o auxílio de um luxímetro calibrado, essa etapa de medição foi feita para o resultado ser usado como parâmetro para o resultado virtual. Também foi feita a medição da iluminação do exterior afim de obter a transmitância do vidro. Todas as medições foram feitas no dia 22 de janeiro de 2021, entre 10 e 11 horas da manhã com o céu claro e sem nuvens.
- 4- Construção de modelos 3D virtuais no *software* de arquitetura Sketchup, das salas de aula analisadas.
- 5- Compatibilização do modelo 3D do Sketchup para o *software* Rhinoceros, no qual a ferramenta ALFA opera.
- 6- Aplicação dos materiais nos elementos do modelo 3D, como nas paredes, piso e forro, cores das carteiras, escolha do tipo de vidro, definição das luminárias e tipo de lâmpada.
- 7- Desenvolvimento das simulações na ferramenta ALFA a partir do modelo 3D, a fim de avaliar os estímulos aos efeitos não-visuais da luz. Para cada sala de aula foram feitas duas simulações, uma com somente a luz natural e outra só com iluminação artificial.
- 8- Discussão dos resultados.
- 9- Considerações finais.

A ferramenta ALFA é um *plugin* do *software* de modelagem Rhinoceros 3D que avalia a iluminação no plano vertical, na altura do olho dos ocupantes do ambiente (1,20m a partir do piso acabado). Para entender todo o contexto da simulação, o programa também desenvolve a simulação para o plano horizontal (a 0,76m do piso acabado). O *Plugin* disponibiliza uma biblioteca de materiais que trazem uma indicação da relação M/P para demonstrar como os materiais proporcionam alterações no ritmo circadiano. A Figura 1, a seguir, indica parte da biblioteca de materiais. O programa calcula a posição da cabeça dos

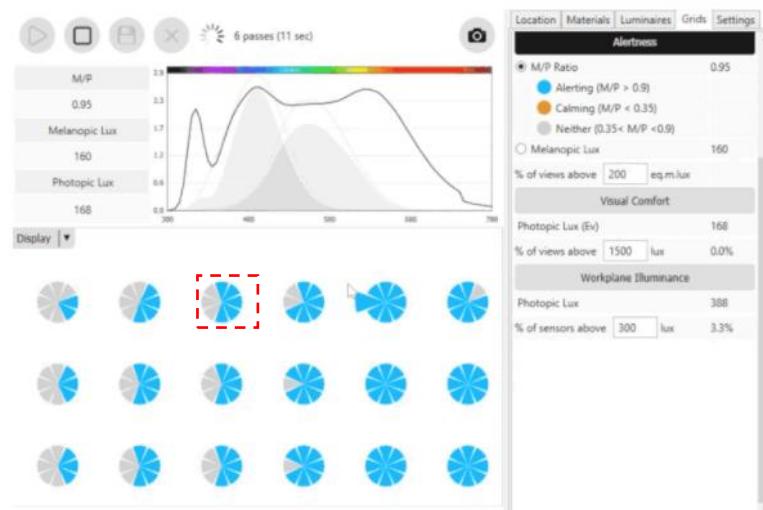
alunos em 8 direções para as vistas que esse aluno pode ter e as representa com um círculo dividido em 8 partes (figura 2). Os resultados das simulações são apresentados em: estado de alerta (relação M/P) e iluminância melanópica equivalente (*equivalent melanopic lux*). Para esta pesquisa, elegeu-se a análise pelo estado de alerta por possibilitar uma forma mais direta de tratamento dos dados.

Figura 1: Tabela de materiais disponibilizada na ferramenta ALFA para aplicação na simulação.



Fonte: Imagem retirada do software ALFA

Figura 2: Representação das possíveis vistas do observador, orientada para 8 partes.



Fonte: Imagem retirada do software ALFA

Como resultados, a ferramenta ALFA considera como estado de alerta quando $M/P > 0.9$, considerando M a iluminação melanópica e P a fotópica. Se a relação for $M/P < 0.35$ é considerado que os ocupantes se encontram em um estado de relaxamento, o que é um resultado indesejado para uma sala de aula. Já o parâmetro neutro, no qual não há estímulo para relaxamento e nem para o estado de alerta, é $0.35 < M/P < 0.9$. como demonstrado na figura 3 a seguir.

Figura 3: Legenda dos resultados no programa ALFA.



Fonte: Imagem retirada do software ALFA

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

No Colégio X foram estudadas três salas de aula distintas, todas com janelas, as quais serão analisadas a seguir em duas situações de iluminação; com luz exclusivamente natural e somente com luz artificial.

Sala de aula 01: Localizada no segundo pavimento com janelas voltadas para a fachada nordeste; possui um pé direito de 4,0m e dimensões de 6,40m de largura por 7,85m de profundidade; as dimensões das 2 janelas são 3,40m de largura por 2,47m de altura e o caixilho com uma modulação de 67cm de largura por 52cm de altura. Na sala há a presença de brises horizontais nas duas janelas, sendo que em uma delas o brise possuía uma inclinação de aproximadamente 60° e o outro a 30°. Esses brises não são movimentados durante o ano e foram representados no modelo 3D e na simulação da forma em que se encontravam na medição in loco. A lousa fica na frente da sala com as janelas à esquerda e as carteiras estão posicionadas em 5 fileiras de 7 carteiras, como pode ser observado nas figuras 4 e 5. Os materiais da sala são: Paredes e teto brancos, piso de tacos de madeira, janelas com caixilho metálico branco, carteiras com mesa de madeira pintada de cinza claro, assento de plástico vermelho, quadro branco e porta de madeira pintada de cinza claro. A sala possui 6 luminárias, distribuídas em 2 fileiras com lâmpadas de LED de cor 4000K.

Figura 4: Planta sala 01

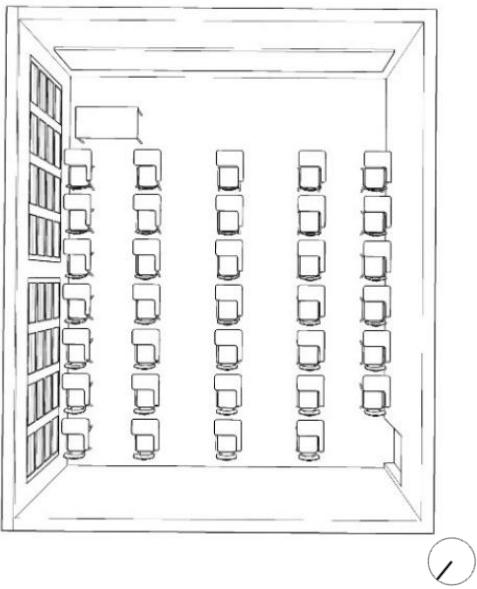
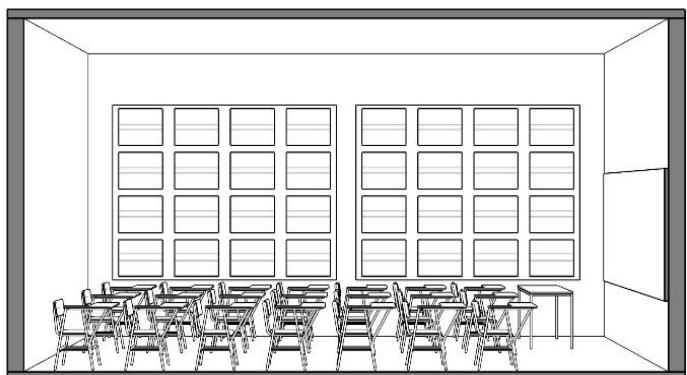


Figura 5: Corte sala 01



Fonte: Imagem retirada do Sketchup,
autoria própria

Fonte: Imagem retirada do Sketchup, autoria própria

No ALFA foram feitas duas simulações: uma com apenas a luz natural (figura 6) e outra com luz artificial (figura 7). Em vermelho estão representadas as janelas, em verde as luminárias e em amarelo a lousa. Na simulação de iluminação natural, o estado de alerta dos alunos (representando em azul), atingiu 94,1% das vistas, enquanto estado neutro (representado em cinza) foi obtido em 5,9% das vistas. Já na simulação com iluminação artificial, o estado de alerta dos alunos não foi alcançado e o estado neutro foi obtido em 100% das vistas. Observa-se que com a iluminação natural, a maioria dos alunos estariam sendo estimulados para o estado de alerta quando estivessem olhando em direção a lousa, somado ao fator que os alunos na sala de aula olham para mais de uma direção, pode-se dizer que essa sala somente com iluminação natural está colaborando para o regulamento do ritmo circadiano dos alunos e que eles se encontrariam alertas durante a aula. Já ao analisar a situação com apenas a iluminação artificial, percebe-se que há grande redução no espectro azul (450–495nm) (demonstrado na figura 7), parte importante do espectro para estimular o ritmo circadiano. Os alunos nessa condição não estariam sendo estimulados pelo ambiente, ou seja, não ficariam mais alertas com o passar do tempo e poderiam até ficar mais desinteressados e sonolentos pela monotonia da iluminação artificial no ambiente, se estiverem com essa pré-disposição.

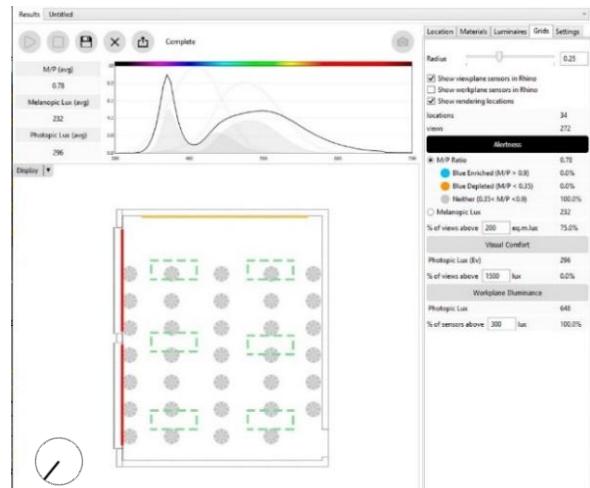
Figura 6: Sala 01 iluminação natural



Fonte: Imagem retirada do software ALFA.

Experimento de autoria própria

Figura 7: Sala 01 iluminação artificial

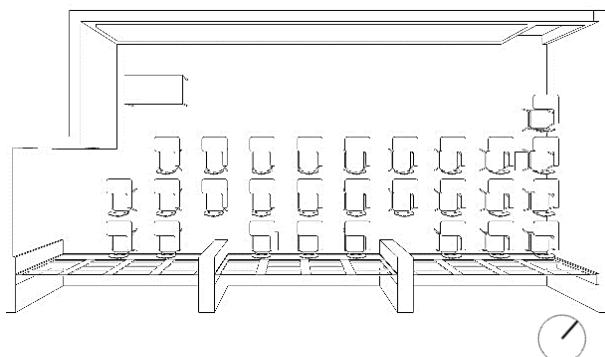


Fonte: Imagem retirada do software ALFA.

Experimento de autoria própria

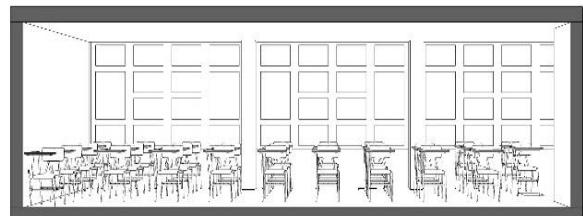
Sala de aula 02: Localizada no segundo pavimento com janelas voltadas para a fachada noroeste, possui um pé direito de 2,46m e dimensões de 10,57m de largura por 4,55m de profundidade, as dimensões das 3 janelas são 3,30m de largura por 1,80m de altura. Na sala não há a presença de brises e nem de qualquer outra proteção solar. A lousa fica na face oposta às janelas e as carteiras estão posicionadas em 10 fileiras de aproximadamente 3 carteiras, como pode ser observado nas figuras 8 e 9. Os materiais da sala são: Paredes e teto brancos, piso vinílico cinza, janelas com caixilho metálico branco, carteiras com mesa de madeira pintada de cinza claro, assento de plástico vermelho, quadro branco e porta de madeira pintada de cinza claro. As luminárias são 6, distribuídas em 3 fileiras com lâmpadas de LED de cor 4000K.

Figura 8: Planta sala 02



Fonte: Imagem retirada do Sketchup, autoria própria

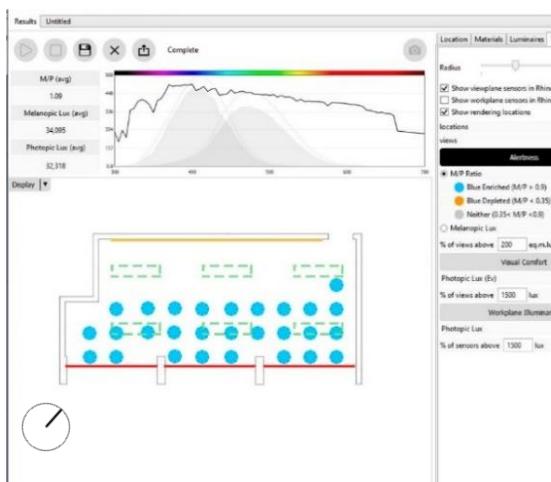
Figura 9: Corte sala 02



Fonte: Imagem retirada do Sketchup, autoria própria

No ALFA, foram feitas duas simulações, uma com apenas a luz natural (figura 10) e outra com luz artificial (figura 11). Em vermelho estão representadas as janelas, em verde as luminárias e em amarelo a lousa. Na simulação de iluminação exclusivamente natural, o estado de alerta dos alunos (representando em azul), atingiu 100% das vistas enquanto estado neutro (representado em cinza) não foi obtido. Na simulação com iluminação artificial, o estado de alerta dos alunos, também atingiu 100% das vistas enquanto estado neutro não foi obtido. Observa-se que com a iluminação natural, todos os alunos estariam sedo estimulados para o estado de alerta, independentemente da direção em que estivessem olhando. Pode-se dizer que essa sala está colaborando positivamente para o regulamento do ritmo circadiano dos alunos, eles se encontrariam alertas durante a aula e o ambiente estaria estimulando essa condição. Ao analisar a situação com apenas a iluminação artificial, percebe-se que o resultado também foi positivo para o estímulo do ritmo circadiano, os alunos se encontrariam em um ambiente que estimula o estado de alerta. A hipótese para esse resultado é que o ambiente é menor que a Sala de Aula 01 e há a mesma quantidade de luminárias, o que resulta em uma iluminância maior. Neste estudo observa-se que todos os alunos têm uma grande oferta de luz no plano de trabalho e na altura de seus olhos.

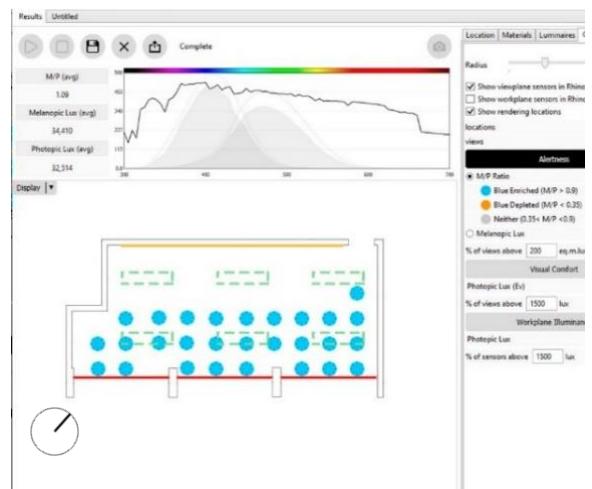
Figura 10: Sala 02 iluminação natural



Fonte: Imagem retirada do software ALFA.

Experimento de autoria própria

Figura 11: Sala 02 iluminação artificial



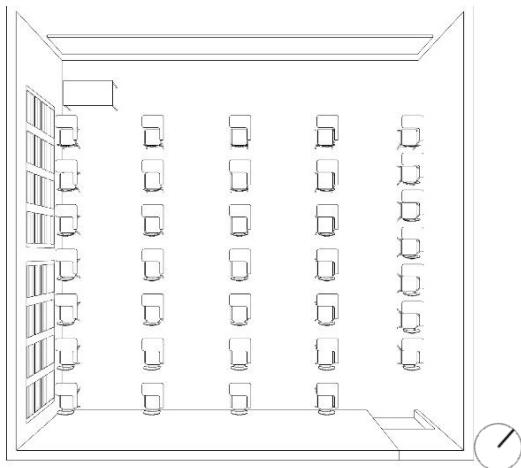
Fonte: Imagem retirada do software ALFA.

Experimento de autoria própria

Sala de aula 03: Localizada no terceiro pavimento com janelas voltadas para a fachada nordeste, possui um pé direito de 4m e dimensões de 8,96m de largura por 8,80m de profundidade, as dimensões das 2 janelas 2 janelas são 3,40m de largura por 2,47m de altura e o caixilho com uma modulação de 67cm de largura por 52cm de altura. Na sala há a presença de brises horizontais nas duas janelas, um estava aberto a aproximadamente 70° e o outro completamente aberto. Esses brises não são movimentados e foram representados

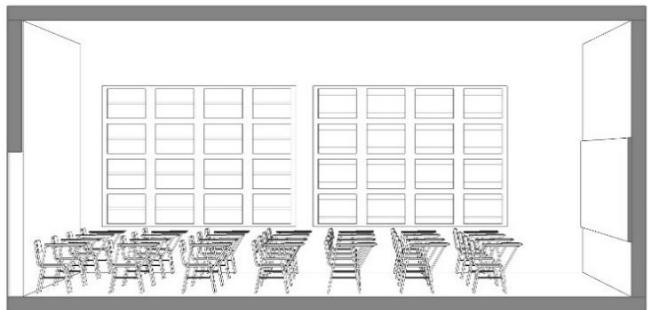
no modelo 3D e na simulação da forma em que se encontravam na visita *in loco*. A lousa fica na frente da sala com as janelas à esquerda e as carteiras estão posicionadas em 5 fileiras de 7 carteiras, como pode ser observado na figura 12 e 13. Os materiais da sala são: Paredes e teto brancos, piso de tacos de madeira, janelas com caixilho metálico branco, carteiras com mesa de madeira pintada de cinza claro, assento de plástico vermelho, quadro branco e porta de madeira pintada de cinza claro. As luminárias são 9, distribuídas em 3 fileiras com lâmpadas de LED de cor 4000K.

Figura 12: Planta sala 03



Fonte: Imagem retirada do Sketchup,
autoria própria

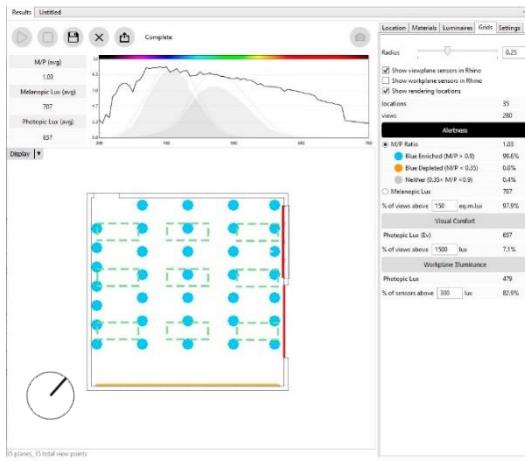
Figura 13: Corte sala 03



Fonte: Imagem retirada do Sketchup, autoria própria

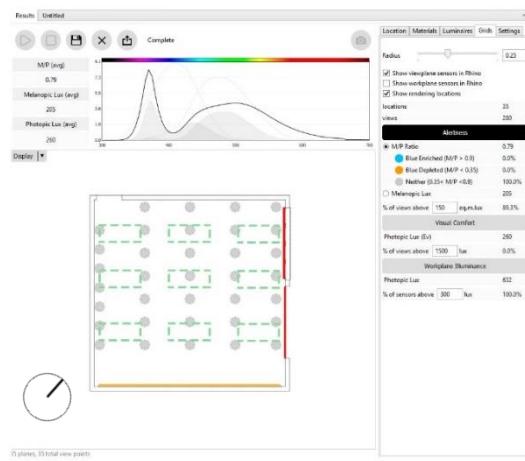
No ALFA, foram feitas duas simulações, uma com apenas a luz natural (figura 14) e outra com luz artificial (figura 15). Em vermelho estão representadas as janelas, em verde as luminárias e em amarelo a lousa. Na simulação de iluminação exclusivamente natural, o estado de alerta dos alunos (representando em azul), atingiu 99,6% das vistas enquanto estado neutro (representado em cinza) foi obtido em 0,4% das vistas. Já na simulação com iluminação artificial, o estado de alerta dos alunos não foi obtido, enquanto estado neutro foi obtido em 100% das vistas. Observa-se que com a iluminação natural, todos os alunos estariam sedo estimulados para o estado de alerta quando estivessem olhando em direção a lousa, bem como para as outras direções da sala de aula. Esse ambiente com iluminação natural está estimulando o estado de alerta e colaborando para a regulação do ritmo circadiano dos alunos no período de aula. O resultado da iluminação artificial, entretanto, se assemelha ao que ocorre na sala 01, onde há uma grande redução no espectro azul (450–495nm) da luz, o que cria certa monotonia na iluminação do ambiente. Essa condição não estimula o estado de alerta nos alunos podendo fazer com que eles percam o interesse ao longo da aula e sintam-se mais entediados e sonolentos se estiverem com essa pré-disposição.

Figura 14: Sala 03 iluminação natural



Fonte: Imagem retirada do software ALFA.
Experimento de autoria própria

Figura 15: Sala 03 iluminação artificial



Fonte: Imagem retirada do software ALFA.
Experimento de autoria própria

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho investigou a realidade das salas de aula de um colégio de ensino médio localizado na cidade de São Paulo, com a finalidade de encontrar respostas para as questões que instigaram esta pesquisa: qual a influência da iluminação natural no ritmo circadiano, estado de alerta e desempenho dos alunos para uma mesma sala em condições distintas de iluminação, isto é, apenas com iluminação natural e apenas com iluminação artificial, como ocorreria no período noturno.

A pesquisa de campo foi limitada devido à pandemia do COVID-19 apenas às medições das dimensões dos ambientes e da iluminância. No entanto, por meio da ferramenta ALFA foi possível obter os resultados buscados, inicialmente por meio de experimentos com os alunos das salas avaliadas, por meio do teste ELISA.

Após a realização das simulações na ferramenta ALFA, pode-se concluir que quando a sala conta com a presença de iluminação natural, os efeitos não-visuais da luz se fazem presentes e influenciam positivamente o ritmo circadiano dos alunos ali presentes. Com a luz natural, os alunos recebem uma variedade do espectro da luz mais rica do que a da luz artificial, capaz de regular o ritmo circadiano deles com a fase clara do dia, o que promove o estado de alerta. Nesta condição do ambiente os alunos tendem a ficar mais despertos e atentos na aula, podendo colaborar diretamente para o bom desempenho escolar e engajamento deles. Portanto, as salas de aula iluminadas naturalmente apresentam mais vantagens para o desempenho e bem-estar dos alunos, quando comparadas às salas com somente iluminação artificial.

6. REFERÊNCIAS

ANDERSEN,M; MARDALJEVIC, J; LOCKLEY, Sw. A framework for predicting the non-visual effects of daylight – Part I: photobiology- based model. : photobiology- based model. *Lighting Research & Technology*, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 37-53, 13 fev. 2012. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153511435961>.

ARIES, Mbc; AARTS, Mpj; VAN HOOF, J. Daylight and health: a review of the evidence and consequences for the built environment. : A review of the evidence and consequences for the built environment. *Lighting Research & Technology*, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 6-27, 7 nov. 2013. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153513509258>. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1477153513509258?journalCode=lrtd>. Acesso em: 3 fev. 2020.

ASARNOW, Lauren D. et al. *The Impact of Sleep Improvement on Food Choices in Adolescents With Late Bedtimes*. *Journal Of Adolescent Health*, [s.l.], v. 60, n. 5, p. 570-576, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jadohealth.2016.11.018>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28111011>. Acesso em: 18 abr. 2020.

BERTOLOTTI, Dimas. Iluminação natural em projetos de escolas: uma proposta de metodologia para melhorar a qualidade da iluminação e conservar energia. 2007. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CIBSE, BRE Trust. *Research insight 01: circadian lighting*. [s.l.]: Chartered Institution Of Building Services Engineers (cibse), v. 01, n. 01, fev. 2020. Disponível em: <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q3Y00000HZfg0QAD>. Acesso em: 10 abr. 2020

CROWLEY, Stephanie J. et al. Increased Sensitivity of the Circadian System to Light in Early/Mid-Puberty. *The Journal Of Clinical Endocrinology & Metabolism*, [s.l.], v. 100, n. 11, p. 4067-4073, nov. 2015. The Endocrine Society. <http://dx.doi.org/10.1210/jc.2015-2775>

DUFFY, Jeanne F.; CZEISLER, Charles A.. *Effect of Light on Human Circadian Physiology*. *Sleep Medicine Clinics*, [s.l.], v. 4, n. 2, p.165-177, jun. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsmc.2009.01.004>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20161220>. Acesso em: 25 nov. 2019.

EDWARDS, L.; TORCELLINI, P.. *Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants*. National Renewable Energy Laboratory, [s.l.], v. [], n. [], p. 1-58, 1 jul. 2002. Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <http://dx.doi.org/10.2172/15000841>.

FIGUEIREDO, Erika Ciconelli 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. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/279>. Acesso em: 11 dez. 2019.

FIGUEIREDO, Erika Ciconelli de. Abordagem do ritmo circadiano no projeto de iluminação natural em edifícios de escritórios. In: XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 16., 2021, Palmas. Anais [...]. Palmas: ANTAC, 2021. p. 1-10.

FIGUEIRO, Mariana. Light isn't just for vision anymore. *Spie Newsroom*, [s.l.], p. 1-3, jan. 2006. SPIE-Intl Soc Optical Eng. <http://dx.doi.org/10.1117/2.1200606.0304>.

FIGUEIRO, Mg; NAGARE, R; PRICE, Lla. Non-visual effects of light: how to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. : How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. *Lighting Research & Technology*, [s.l.], v. 50, n. 1, p. 38-62, 25 jul. 2017. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153517721598>.

GOLDSTEIN, Andrea N.; WALKER, Matthew P.. *The Role of Sleep in Emotional Brain Function*. *Annual Review Of Clinical Psychology*, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 679-708, 28 mar. 2014. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032813-153716>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-clinpsy-032813-153716>. Acesso em: 19 abr. 2020.

HUANG, Rong-chi. The discoveries of molecular mechanisms for the circadian rhythm: the 2017 nobel prize in physiology or medicine. : The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine. *Biomedical Journal*, [s.l.], v. 41, n. 1, p. 5-8, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bj.2018.02.003>.

JUNG, B; INANICI, M. Measuring circadian lighting through high dynamic range photography. *Lighting Research & Technology*, [S.L.], v. 51, n. 5, p. 742-763, 10 ago. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153518792597>

KRAUSE, Adam J. et al. *The sleep-deprived human brain*. *Nature Reviews Neuroscience*, [s.l.], v. 18, n. 7, p. 404-418, 18 maio 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/nrn.2017.55>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28515433>. Acesso em: 18 abr. 2020.

LOCKLEY, Steven W.; PECHACEK, Christopher S.; ANDERSEN, Marilyne. Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day)Light with Applications to Healthcare Architecture. *Leukos*, Boston, p.1-26, jul. 2008. Disponível em: . Acesso em: 23 jun. 2020.

MARTAU, Betina Tschiedel. A luz além da visão: iluminação e sua influência na saúde e bem-estar.: Iluminação e sua influência na saúde e bem-estar. *Lume Arquitetura*, [s.i.], v. 38, n. 38, p. 62-68, jun. 2009.

MARTINEZ, Denis et al. Diagnóstico dos transtornos do sono relacionados ao ritmo circadiano. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 173-180, mar. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-37132008000300008>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132008000300008#end. Acesso em: 15 fev. 2020.

MILLER, Naomi J.; IRVIN, Anne (Lia). M/P ratios – Can we agree on how to calculate them? IES: Illuminating Engineering Society, [S.I.], 27 set. 2019. Disponível em: <https://www.ies.org/fires/m-p-ratios-can-we-agree-on-how-to-calculate-them/>. Acesso em: 15 mar. 2021.

NOBEL PRIZE. Nobel Foundation. *Press release*. 2017. Nobel Media. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2017/press-release/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

SLEEP is your superpower - Matt Walker. [s.i.]: Ted Conference, 2019. (19 min.), color. Disponível em: https://www.ted.com/talks/matt_walker_sleep_is_your_superpower?language=en. Acesso em: 18 abr. 2020.

TONELLO, G et al. Perceived well-being and light-reactive hormones: an exploratory study: An exploratory study. *Lighting Research & Technology*, [s.l.], v. 51, n. 2, p. 184-205, 9 jan. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/1477153517750714>.

LOCKLEY, Steven W.; PECHACEK, Christopher S.; ANDERSEN, Marilyne. Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day)Light with Applications to Healthcare Architecture. Leukos, Boston, p.1-26, jul. 2008. Disponível em: . Acesso em: 23 jun. 2020.

WILLIS, Carol. **Form follows finance**: skyscrapers and skylines in new york and chicago paperback. Princeton: Princeton Architectural Press, 1995

Contatos: anademello.arq@gmail.com e erika.fiqueiredo@mackenzie.br