



NATHALI PIMENTEL CHAVES

**NOVOS PROCESSOS DE PROJETO:
EXPLORANDO A
ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA**

CIP - Catalogação na Publicação

Chaves, Nathali Pimentel
Novos processos de projeto: Explorando a Iluminação Integrativa / Nathali Pimentel Chaves. -- 2020.
340 f.
Orientador: Betina Tschiedel Martau.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Iluminação Integrativa. 2. Projeto de Iluminação. 3. Projeto de Arquitetura. 4. Simulação Computacional. 5. Ciclo Circadiano. I. Martau, Betina Tschiedel, orient. II. Título.

Nathali Pimentel Chaves

NOVOS PROCESSOS DE PROJETO:
EXPLORANDO A ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA
NEW DESIGN PROCESSES: EXPLORING INTEGRATIVE LIGHTING

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Arq. Betina Tschiedel Martau

Porto Alegre
Outubro, 2020.

Nathali Pimentel Chaves

NOVOS PROCESSOS DE PROJETO:
EXPLORANDO A ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA
NEW DESIGN PROCESSES: EXPLORING INTEGRATIVE LIGHTING

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 13 de outubro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Betina Tschiedel Martau, Arq. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dra. Claudia Roberta de Castro Moreno, Bio. – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Isac Roizenblatt, Eng. Eletr. – Centro Universitário Belas Artes de São Paulo

Prof. Dra. Marta Silveira Peixoto, Arq. – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

À DÉBORA, AO SALMO E AO LUCAS. O AMOR DE VOCÊS É A BASE DA MINHA CORAGEM E DETERMINAÇÃO PARA CORRER ATRÁS DA REALIZAÇÃO DOS MEUS SONHOS.

A TODOS AQUELES QUE SE DOAM A PESQUISA E A CIÊNCIA QUE, APESAR DE TODAS AS ADVERSIDADES E OBSCURANTISMO, TRAZEM O SER HUMANO À LUZ DO CONHECIMENTO.

"NÃO É O CRÍTICO QUE IMPORTA; NEM AQUELE QUE APONTA ONDE FOI QUE O HOMEM TROPEÇOU OU COMO O AUTOR DAS FAÇANHAS PODERIA TER FEITO MELHOR. O CRÉDITO PERTENCE AO HOMEM QUE ESTÁ POR INTEIRO NA ARENA DA VIDA, CUJO ROSTO ESTÁ MANCHADO DE POEIRA, SUOR E SANGUE; QUE LUTA BRAVAMENTE; QUE ERRA, QUE DECEPCIONA, PORQUE NÃO HÁ ESFORÇO SEM ERROS E DECEPÇÕES; MAS QUE, NA VERDADE, SE EMPENHA EM SEUS FEITOS; QUE CONHECE O ENTUSIASMO, AS GRANDES PAIXÕES; QUE SE ENTREGA A UMA CAUSA DIGNA; QUE, NA MELHOR DAS HIPÓTESES, CONHECE NO FINAL O TRIUNFO DA GRANDE CONQUISTA E QUE, NA PIOR, SE FRACASSAR, AO MENOS FRACASSA OUSANDO GRANDEMENTE."

THEODORE ROOSEVELT em trecho do discurso "Cidadania em uma República" (ou "O Homem na Arena"), proferido na Sorbonne em 1910.

AGRADECIMENTOS

À Débora, que sempre me ouviu, abraçou e acolheu nos momentos de incerteza. Me espelho em ti todos os dias pela tua força, pelo teu caráter e pelo teu amor. Tu me ensinaste a nunca desistir e a acreditar mais no meu potencial.

Ao Salmo e ao Lucas, que me deram todo o suporte e amor para eu chegar até esta etapa da minha carreira profissional. Vocês me alegraram quando eu estava triste e me deram a bronca necessária para eu erguer a cabeça e criar coragem para enfrentar os percalços no caminho.

À Prof. Dra. Betina Martau, que me conduziu no aprendizado da Iluminação Integrativa, me ensinou a ser mais objetiva e me orientou para a melhor realização desse trabalho. A admiração pela tua dedicação ao ensino e à pesquisa se somam com a admiração pela mulher e mãe que és para o teu filho.

A todos que participaram da banca de qualificação - Prof. Dr. Isac Roizenblatt, Prof. Dra. Claudia Moreno e Prof. Dr. Benamy Turkienicz. Vocês realizaram grandes observações e me deram a clareza para o melhor desenvolvimento dessa dissertação final.

A todos que participaram da banca final de avaliação dessa dissertação – Prof. Dr. Isac Roizenblatt, Prof. Dra. Claudia Moreno e Prof. Dra. Marta Peixoto – pela disposição em avaliar esse trabalho em meio a uma pandemia global e sem precedentes.

Ao Prof. Dr. Fernando Duro (Unisinos), que me incentivou a tentar o processo seletivo para o mestrado do PROPAR-UFRGS.

Ao Ricardo Quintela, pela gentileza de fornecer os dados de DEP e TCC utilizados para o desenvolvimento desse trabalho.

A todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração dessa pesquisa.

À vida – ou destino – pelo caminho percorrido até aqui, pelo caminho que irei percorrer e pelas pessoas boas e as lições aprendidas nessa jornada.

RESUMO

Antes da descoberta do novo fotorreceptor no olho humano (ipRGC), o projeto luminotécnico se baseava na quantidade de luz adequada para o desempenho das tarefas visuais. Fundamentados no conceito de iluminância, cuja unidade métrica é o Lux, os parâmetros de conforto visual são estabelecidos por normas técnicas, como a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013a). A relação entre esse elemento e a regulação circadiana evidenciou que esses métodos não atendem aos aspectos não visuais humanos de forma a garantir projetos de iluminação que não prejudiquem a saúde do usuário. No contexto científico atual, pesquisadores buscam novas metodologias que ofereçam aos luminotécnicos ferramentas para projetar incluindo o conceito de Iluminação Integrativa. Duas métricas se destacam para o desenvolvimento do projeto de iluminação considerando o impacto no sistema não visual humano: O Lux Melanópico Equivalente (z-ópico lux) desenvolvido na *The University of Manchester*, em Manchester no Reino Unido, incorporado ao Lux Melanópico Equivalente (EML) utilizada pela Certificação WELL; e a unidade Estímulo Circadiano (CS), desenvolvida pelo *Lighting Research Center* do *Rensselaer Polytechnic Institute*, em Troy nos EUA. Os projetos de iluminação voltados para o sistema visual (lux) e não visual estão sendo desenvolvidos com o EML e o CS. Por isso, se questiona: quais os impactos as métricas EML e CS causarão no processo e no resultado do projeto de iluminação? Assim, o objetivo geral foi *identificar a relação entre o processo de projeto luminotécnico convencional (que atende às legislações vigentes) e o processo de projeto da Iluminação Integrativa (que incorpora a iluminação circadiana) considerando as duas métricas mais utilizadas atualmente: o EML e o CS.* A metodologia empregada foi o estudo de caso de um escritório hipotético utilizando a simulação computacional de iluminação natural e elétrica com a simulação no DIALux evo 8 como ferramenta. Os resultados e a discussão demonstram que os projetos de Iluminação Integrativa desenvolvidos a partir das recomendações de EML podem ser distintos daqueles desenvolvidos com o CS. Também, se confirma que o projeto de iluminação integrativa causará um grande impacto no processo de projeto de iluminação. Ainda, se pode verificar que os projetos de Iluminação Integrativa apresentaram resultados diferentes daqueles projetos desenvolvidos a partir apenas do atendimento da norma de iluminação brasileira. O estudo conclui que ainda não existe um consenso no meio científico sobre a forma de quantificar o impacto do projeto de iluminação no sistema circadiano. A pesquisa sobre o tema deverá ser aprofundada, pois o resultado prático na iluminância, posicionamento das fontes luminosas e propriedades indicadas de luz é comprovadamente diferente para projetos integrativos.

Palavras-chave: Iluminação Integrativa; Projeto de Iluminação; Projeto de Arquitetura; Simulação Computacional; Ciclo circadiano.

ABSTRACT

Before the discovery of the new photoreceptor in the human eye (ipRGC), lighting design was based on the amount of light suitable for visual task performance. Based on illuminance concept, whose metric unit is Lux, visual comfort parameters are established by technical standards. The comparison between this new element and circadian regulation emphasized that these methods do not meet human needs in order to guarantee aspects related to users' health. In the current scientific context, researches are looking for new methodologies that offer lighting designers tools to develop projects including the integrative lighting concept. Two metrics stand out when we mention lighting design regarding the impact of lighting in the non-visual human system: Equivalent Melanopic Lux (z-óptico lux), developed by The University of Manchester in the United Kingdom, incorporated by Equivalent Melanopic Lux (EML) and used by WELL Standard; and the unit Circadian Stimulus (CS), developed by the Rensselaer Polytechnic Institute, in Troy in the USA. Lighting design projects for the visual (lux) and non-visual system are being developed with EML and CS. Therefore, a question appears: what kind of impacts in the lighting design processes and results the EML and CS metrics are going to do? So, the main objective was to identify the relation between the conventional lighting design process (that meets the current Brazilian laws) and the integrative lighting design process (that incorporates circadian lighting) condensing the two most used metrics today: EML and CS. The methodology used was the case study of a hypothetic office applying the natural and electric lighting computer simulation with DIALux evo 8 as a tool. The results and the discussion demonstrate that the integrative lighting projects developed from the EML recommendations can be different from those developed from the CS recommendations. Also, it turns out that the integrative lighting project will cause a great impact on the lighting design process. Still, it can be seen that the integrative lighting projects will present different results from the projects developed based exclusively on meeting the Brazilian lighting standard. The study concludes that there is still no consensus in the scientific community on how to quantify the impact from the lighting design project on the circadian system. The research on the topic should be further developed, as the practical result in illuminance, positioning of the lighting sources and indicated properties of light is demonstrably different for Integrative Lighting projects.

Key-Words: Integrative Lighting; Lighting Design; Architecture Design; Computer Simulation; Circadian System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Apartamentos <i>Lake Shore Drive</i> . Projeto arquitetônico de Mies Van der Rohe e projeto luminotécnico de Richard Kelly (1940).	41
Figura 2 - Interiores de escritórios das torres de vidro, aço e concreto.....	43
Figura 3 - Hall, Rosbash e Young, ganhadores do NOBEL de Medicina de 2017.	46
Figura 4 - Comparativo entre espectros de luz natural e luz elétrica.....	59
Figura 5 - Estrutura do olho humano.....	60
Figura 6 – Camadas da retina	61
Figura 7 - Sensibilidades espectrais individuais dos fotorreceptores.....	62
Figura 8 - Relações entre comprimentos de onda e espectro de cores	63
Figura 9 - Funções de eficiência fotópica e escotópica	64
Figura 10 - Adaptação do olho à escuridão	65
Figura 11 – Sistema que regula o ciclo circadiano no cérebro	67
Figura 12 - Variação temporal de cortisol, melatonina e temperatura corporal ao longo de 24 horas.....	69
Figura 13 - Estrutura do olho humano envelhecido	71
Figura 14 – Planta baixa do Garrick Building (Adler e Sullivan, 1892), um exemplo de da configuração interna dos escritórios em "celas" do século XIX.....	78
Figura 15 – Plantas baixas e perspectiva do Edifício The Larkin (Frank Lloyd Wright), um exemplo de configuração de um escritório do início do século XX	79
Figura 16 – Planta baixa do Edifício Johnson Wax (Frank Lloyd Wright), um exemplo de configuração de um escritório "The American Office"	80
Figura 17 – Plantas baixas de escritórios <i>bürolandshaft</i> e <i>action office</i>	81
Figura 18 – Planta baixa de um escritório <i>combinado</i>	82
Figura 19 – Escritório com computadores, projetado com foco na economia de energia e conforto humano.....	83
Figura 20 – Escritório do século XXI: Hankook Tecnoplex da Foster +Partners (2020) - Nível 8	85
Figura 21 - Função de ocorrência de cor CIE observador padrão	90
Figura 22 - Diagrama de cromaticidade	90
Figura 23 - IRC: R1 a R15.....	92
Figura 24- Exemplo da distorção da cor e o IRC.....	92

Figura 25 - CIE D65.....	94
Figura 26 - Composições de LED para a geração da luz branca	95
Figura 27 – DEP característico do LED	95
Figura 28 – Valores de refletância das superfícies do ambiente	102
Figura 29 – Área de tarefa (amarelo) e espaço do usuário (rosa)	103
Figura 30 – Valores mínimos de uniformidade em um escritório	103
Figura 31 – Zona crítica de radiação para luminância de luminária que pode causar brilho refletido em uma tela	105
Figura 32 - Mapa de luminância do céu claro, encoberto e parcialmente encoberto	109
Figura 33 - Esquema de funcionamento dos fotorreceptores	115
Figura 34 –Luz Circadiana (CL _A): Sensibilidade espectral do sistema circadiano humano	119
Figura 35 - Sistema de fototransdução circadiano e irradiância retinal	121
Figura 36 - Funções de Sensibilidade Espectral	122
Figura 37 - Análise comparativa entre as funções circadianas.....	124
Figura 38 - <i>Irradiance Toolbox</i>	128
Figura 39 – Imagem da tela da planilha denominada como calculadora “Razão Melanópica”	133
Figura 40 - Cronograma EML.....	134
Figura 41 – Altura de medição de iluminâncias verticais para utilizar no cálculo da conversão em EML	134
Figura 42 – Relações entre estímulo circadiano, luz circadiana, supressão da melatonina e iluminância (lux).....	138
Figura 43 – Imagem da tela da <i>Web CS Calculator</i>	139
Figura 44 - Cronograma CS 0,3	141
Figura 45- Cronograma CS 0,4	141
Figura 46- Exemplos de luz complementar vermelha e azul apresentados no documento <i>Iluminação para escritórios</i>	142
Figura 47- Cronograma CS – com complemento de camadas de luz azul e vermelha	142
Figura 48 – Daysimeter em uso para medição da Ev para conversão em CS.....	143
Figura 49 – CS: Altura de medição da Ev para conversão em CS	143
Figura 50 – CS: Luminária de mesa recomendada pelo LRC.....	144

Figura 51 - CS: Luminária com o plano na altura do olho recomendada pelo LRC	144
Figura 52 - CS: Luminária "caseira" recomendada pelo LRC	145
Figura 53 – Análise comparativa entre lux melanópico equivalente (z-ópico lux/EML) e estímulo circadiano (CS)	146
Figura 54 – WELL <i>Certification</i> : projeto certificado no Brasil	147
Figura 55 -Edifício que recebeu a WELL <i>Certification</i> : Foto de ambientes internos da ASID	148
Figura 56 – Edifício que recebeu a WELL <i>Certification</i> : Fotos de ambientes internos ASID	148
Figura 57 -CS: Imagens de posicionamento de fontes de luz no escritório da pesquisa	150
Figura 58 - CS: Exemplos de variação de espectro e iluminância	152
Figura 59 - Fluxograma dissertação	155
Figura 60 - Planta baixa do escritório administrativo com a disposição de mobiliário	158
Figura 61 - Corte AA` do escritório administrativo.....	158
Figura 62 - Corte BB' do escritório administrativo.....	159
Figura 63 – Imagem da tela de cálculo da <i>Razão Melanópica</i> e a aba "Data"	161
Figura 64 – <i>Razão Melanópica</i> e a aba "Circadian"	162
Figura 65 – Imagem da <i>CS Calculator - Step 1: Select Sources</i>	163
Figura 66 – <i>CS Calculator: Step 2: Edit Variables</i>	163
Figura 67 –Perspectiva de localização dos planos e pontos de cálculo para simulação computacional de iluminação natural.....	165
Figura 68 – Modelo de tabela de apresentação de resultados dos postos de trabalho das 8h às 18h de iluminância vertical e horizontal decorrentes da simulação computacional por orientação solar e período de equinócios ou solstícios	166
Figura 69 – Modelo de diagrama visual de apresentação dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação para cada posto de trabalho nos horários utilizados para a simulação computacional	167
Figura 70 – Modelo de tabela com os resultados percentuais do número de postos de trabalho atendidos por ano em cada horário para equinócio ou solstício em cada orientação solar por legenda de classificação	167
Figura 71 – Modelo de apresentação dos resultados com gráficos de percentuais empilhados com os resultados percentuais do número de postos de trabalho	

classificados de acordo com a legenda de classificação no equinócio ou solstício em cada orientação solar nos horários das 8h às 18h.....	168
Figura 72 – Modelo de tabela com os resultados percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção em sua E_v e E_m classificados de acordo com a legenda de análise de intervenção no equinócio e solstícios em cada orientação solar nos horários das 8h às 18h	169
Figura 73 - Perspectiva de localização dos planos de cálculo no ambiente hipotético de acordo com a norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a) para projeto luminotécnico.....	171
Figura 74 - Projeto luminotécnico para o escritório administrativo hipotético que atende aos requisitos da norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a)	173
Figura 75 – Perspectivas de simulação computacional do projeto luminotécnico para o escritório administrativo hipotético que atende aos requisitos da norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a)	174
Figura 76 -DEP das variações de TCC da luminária escolhida para o projeto luminotécnico.....	175
Figura 77 – Inserindo valores de DEP da luminária LED de uma determinada TCC na aba “data” da calculadora do EML (<i>Razão Melanópica</i>)	176
Figura 78 – Demonstração de resultados da calculadora do EML e o valor de Razão Melanópica da luminária LED 4000 K	176
Figura 79 –Adição de DEP da Luminária LED 4000 K do Step:1 da calculadora da CS: a <i>Web CS Calculator</i>	177
Figura 80 – Escolha da fonte de luz para cálculo em “Available sources” calculadora da CS: a <i>Web CS Calculator</i>	178
Figura 81 – Adição de $CS=0,3$ em “Source Circadian Stimulus” para determinar iluminância vertical circadianamente ativa na <i>Web CS Calculator</i>	178
Figura 82 – Modelo de tabela para apresentação dos resultados de iluminância vertical por posto de trabalho da iluminação elétrica e as suas conversões em unidades de EML e CS	179
Figura 83 – Modelo de gráfico para apresentação dos resultados da conversão dos valores de iluminância vertical nas unidades de EML e CS	179
Figura 84- Gráfico com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) em EML para projeto de iluminação convencional elétrica – LADO A	208

Figura 85 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) em EML para projeto de iluminação convencional elétrica – LADO B	209
Figura 86 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) em CS para projeto de iluminação convencional elétrica – LADO A.....	210
Figura 87 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) em CS para projeto de iluminação convencional elétrica – LADO B	210
Figura 88 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) da fonte 3000 K em EML para o projeto de iluminação convencional elétrica – 100%, 70% e 50% – LADO A	213
Figura 89 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) da fonte 3000 K em EML para o projeto de iluminação convencional elétrica – 100%, 70% e 50% – LADO B.....	214
Figura 90 – EML, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período diurno	214
Figura 91 – EML, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período noturno	215
Figura 92 – EML, fonte 3000 K: Iluminação do ambiente nas iluminâncias do cronograma.....	216
Figura 93 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) da fonte 3000 K em CS para o projeto de iluminação convencional elétrica – 100%, 70% e 50% – LADO A	216
Figura 94 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) da fonte 3000 K em CS para o projeto de iluminação convencional elétrica – 100%, 70% e 50% – LADO B.....	217
Figura 95 – CS, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período diurno	218
Figura 96 – CS, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período noturno	218
Figura 97 – CS, fonte 3000 K: Iluminação do ambiente nas iluminâncias do cronograma	219
Figura 98 – CS, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período diurno - Opção alternativa	220
Figura 99 - Diagrama visual dos postos de trabalho em céu claro na orientação LESTE às 8h no solstício de inverno - EML.....	223

Figura 100 -Diagrama visual dos postos de trabalho em céu claro na orientação LESTE às 8h no solstício de inverno - CS	223
Figura 101 -Diagrama visual dos postos de trabalho em céu encoberto na orientação LESTE às 8h no solstício de inverno – EML e CS.....	223
Figura 102– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de inverno na orientação norte, sul, leste e oeste	266
Figura 103 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu encoberto no equinócio na orientação norte, sul, leste e oeste	266
Figura 104 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de verão na orientação norte, sul, leste e oeste	266
Figura 105– CS: Gráfico de resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de inverno na orientação norte, sul, leste e oeste.....	271
Figura 106 – CS: Gráfico de resultados percentuais (%) em céu encoberto no equinócio na orientação norte, sul, leste e oeste.....	271
Figura 107 – CS: Gráfico de resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de verão na orientação norte, sul, leste e oeste	271
Figura 108– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu claro no solstício de inverno na orientação leste	278
Figura 109 –EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu claro no equinócio na orientação leste	278
Figura 110 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu claro no solstício de verão na orientação leste	278
Figura 111– CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro no solstício de inverno na orientação leste	284
Figura 112 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação leste	284
Figura 113 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação leste.....	284
Figura 114– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação norte	292
Figura 115 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação norte.....	292
Figura 116 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação norte.....	292

Figura 117– CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação norte	297
Figura 118 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação norte	297
Figura 119 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação norte.....	297
Figura 120– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação oeste.....	303
Figura 121 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação oeste	303
Figura 122 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação oeste	303
Figura 123– CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação oeste.....	308
Figura 124 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação oeste.....	308
Figura 125 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação oeste	308
Figura 126– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação sul.....	315
Figura 127 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação sul	315
Figura 128 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação sul	315
Figura 129– CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação sul.....	320
Figura 130 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação sul.....	320
Figura 131 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação sul	320

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades fotométricas básicas	88
Tabela 2 - Caracterização dos fotorreceptores do olho humano	122
Tabela 3 - Unidades de irradiância relacionadas aos fotorreceptores	127
Tabela 4 - Valores de iluminância vertical que suprimem ou não a produção de melatonina para o céu claro e céu encoberto de acordo com CS e EML	164
Tabela 5 – Especificações da luminária LED utilizada no projeto convencional	170
Tabela 6 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu encoberto nos horários das 8h às 18h para todas as orientações solares nos equinócios e solstícios.....	185
Tabela 7 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h na orientação leste nos equinócios e solstícios.....	190
Tabela 8 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h na orientação norte nos equinócios e solstícios....	195
Tabela 9 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h na orientação oeste nos equinócios e solstícios ...	200
Tabela 10 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h na orientação sul nos equinócios e solstícios	204
Tabela 11 – Resumo dos percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h em todas as orientações solares nos equinócios e solstícios	207
Tabela 12 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu encoberto (norte, sul, leste e oeste) classificados de acordo com os parâmetros do EML	264

Tabela 13 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu encoberto para Norte, Sul, Leste e Oeste em EML.....	265
Tabela 14 – EML: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de inverno na orientação norte, sul, leste e oeste	266
Tabela 15 – EML: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no equinócio na orientação norte, sul, leste e oeste.....	266
Tabela 16 – EML: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de verão na orientação norte, sul, leste e oeste	266
Tabela 17 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu encoberto (norte, sul, leste e oeste) classificados de acordo com os parâmetros do CS.....	269
Tabela 18 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu encoberto para NORTE, SUL, LESTE E OESTE em CS.....	270
Tabela 19 – CS: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de inverno na orientação norte, sul, leste e oeste	271
Tabela 20 – CS: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no equinócio na orientação norte, sul, leste e oeste.....	271
Tabela 21 – CS: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de verão na orientação norte, sul, leste e oeste	271
Tabela 22 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em leste e classificados de acordo com os parâmetros do EML.....	276
Tabela 23 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para LESTE em EML.....	277
Tabela 24 – EML: Resultados percentuais (%) em céu claro no solstício de inverno na orientação leste	278
Tabela 25 – EML: Resultados percentuais (%) em céu claro no equinócio na orientação leste.....	278
Tabela 26 – EML: Resultados percentuais (%) em céu claro no solstício de verão na orientação leste	278

Tabela 27 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em leste e classificados de acordo com os parâmetros do CS.....	282
Tabela 28 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para LESTE em CS.....	283
Tabela 29 – CS: Resultados percentuais (%) do céu claro em solstício de inverno na orientação leste	284
Tabela 30 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação leste	284
Tabela 31 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação leste	284
Tabela 32 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em norte e classificados de acordo com os parâmetros do EML	290
Tabela 33 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para NORTE em EML	291
Tabela 34 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação norte	292
Tabela 35 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação norte	292
Tabela 36 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação norte	292
Tabela 37 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em norte e classificados de acordo com os parâmetros do CS.....	295
Tabela 38 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para NORTE em CS	296
Tabela 39 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação norte	297
Tabela 40 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação norte	297
Tabela 41 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação norte	297

Tabela 42 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em oeste e classificados de acordo com os parâmetros do EML.....	301
Tabela 43 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para OESTE em EML	302
Tabela 44 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação oeste	303
Tabela 45 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação oeste	303
Tabela 46 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação oeste	303
Tabela 47 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em oeste e classificados de acordo com os parâmetros do CS.....	306
Tabela 48 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para OESTE em CS	307
Tabela 49 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação oeste	308
Tabela 50 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação oeste	308
Tabela 51 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação oeste	308
Tabela 52 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em sul e classificados de acordo com os parâmetros do EML.....	313
Tabela 53 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para SUL em EML.....	314
Tabela 54 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação sul	315
Tabela 55 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação sul	315
Tabela 56 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação sul	315

Tabela 57 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em sul e classificados de acordo com os parâmetros do CS	318
Tabela 58 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para SUL em CS.....	319
Tabela 59 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação sul.....	320
Tabela 60 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação sul	320
Tabela 61 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação sul.....	320
Tabela 62 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 2700K.....	325
Tabela 63 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 3000K.....	325
Tabela 64 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 4000K.....	325
Tabela 65 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 5000K.....	326
Tabela 66 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 6500K.....	326
Tabela 67 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 3000K a 400 lux (70%).....	327
Tabela 68 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 3000K a 300 lux (50%).....	329

LISTA DE ABREVIATURAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANSI** – American National Standards Institute (Instituto de Normas Nacionais Americanas)
- ASE** – Annual Sunlight Exposure
- ASID** – American Society of Interior Designers (Associação Americana de Designers de interiores)
- BIM** – Building Information Modeling
- CAD** – Computer Aided Design
- CBIC** – Câmara Brasileira da Indústria da Construção
- CIAM** – Congr s International de l'Architecture Moderne (Congresso Internacional de Arquitetura Moderna)
- CIE** – Commission Internationale de l'Eclairage (Comissão internacional de Ilumina o)
- CLA** – Luz Circadiana
- CS** – Estímulo Circadiano
- DEP** – Distribui o Espectral de Potência Radiante
- DIN** – Deutsches Institute für Normung (Instituto Alemão de Normas Técnicas)
- E_m / E_H** – Iluminância mantida / horizontal
- EML** – Lux Melanópico Equivalente
- E_v** – Iluminância Vertical
- FOV** – Campo de visão
- GAI** –  ndice de  rea Gamut
- HCL** – Human Centric Lighting (Ilumina o Centrada nos Fatores Humanos)
- IEA** – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)
- IES** – Illuminating Engineering Society (Associa o de Engenharia para Ilumina o)
- ipRGC** – Células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis
- IRC** –  ndice de reprodu o de cores
- IWBI** – International Well Building Institute
- JTC** – Joint Technical Committee (Comit  de junta técnica)
- LED** – Lighting Emitting Diode
- LEED** – Leadership in Energy & Environmental Design
- LFC** – Lâmpadas Fluorescentes Compactas
- LRC** – Lighting Research Center
- NBR** – Norma Brasileira
- NPV** – Núcleo paraventricular
- NSQ** – Núcleo supraquiasmático
- OMS** – Organiza o Mundial da Saúde

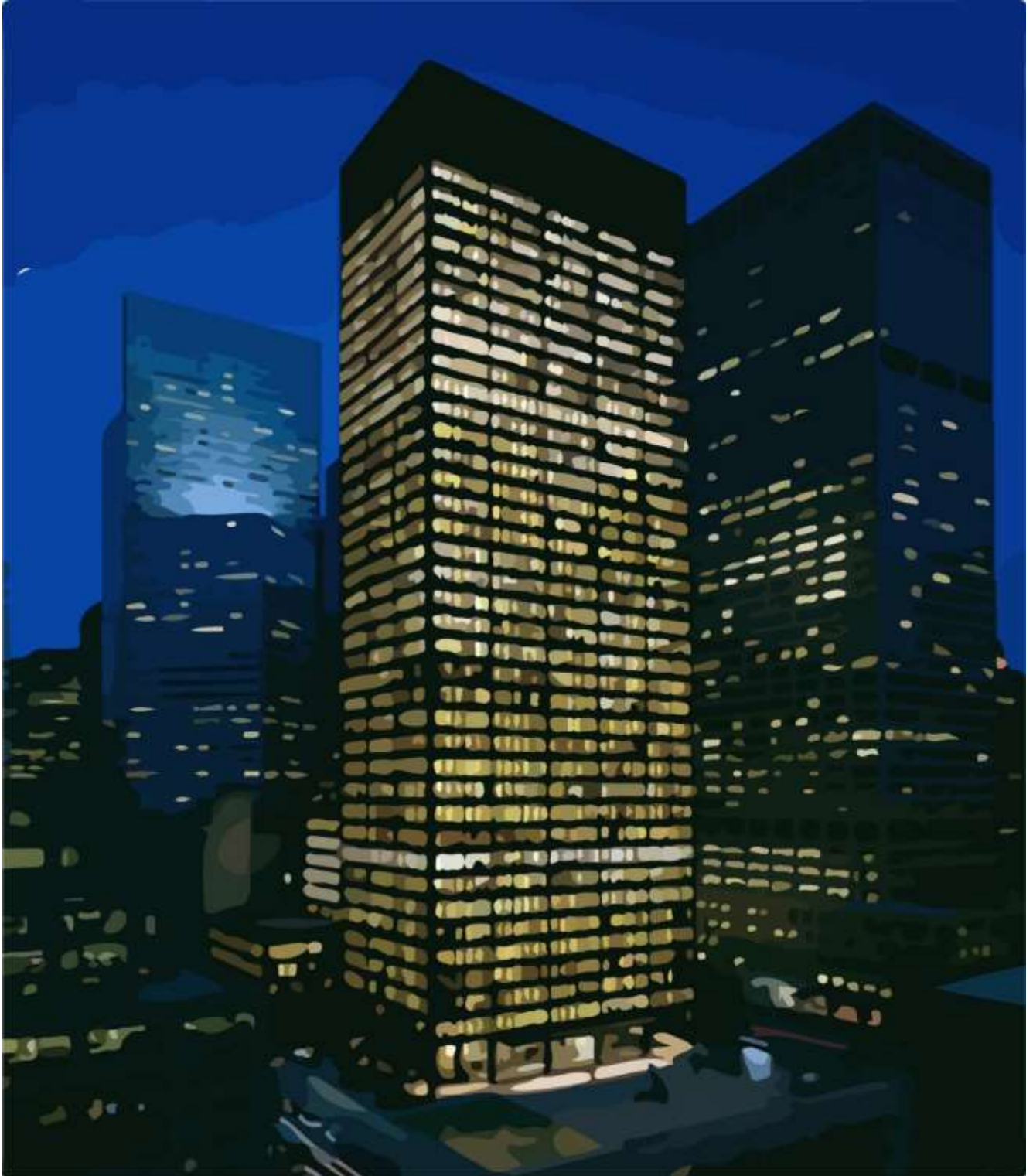
OPAS – Organização Pan-Americana da Saúde
PD – Plano Diretor
RGB – Red, Green, Blue (Vermelho, Verde e Azul)
RLP – Reflexo de luz da pupila
RP – Recommended Practice (Prática Recomendada)
RPI – Ressenlaer Polytechnic Institute
SAD – Seasonal Affective Disorder (Transtorno afetivo sazonal)
sDA 300lx, 50% - Spatial Daylight Autonomy
SED – Síndrome dos edifícios doentes
SI – Sistema Internacional
SUS – Sistema Único de Saúde, Ministério da Saúde, Brasil
TCC – Temperatura de cor correlata
TN – Technical Note (Nota técnica)
TRH – Trato retino-hipotalâmico
U – Índice de uniformidade
UGR – Índice de ofuscamento unificado
UL – Underwriters Laboratories
UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	37
1.1	Iluminação: a relação entre inovação tecnológica e a arquitetura	38
1.2	O conceito de Iluminação Integrativa (<i>Integrative Lighting</i>).....	48
1.3	Problema de pesquisa	53
1.4	Objetivos e delimitações	54
2.	O SER HUMANO, SEU SISTEMA VISUAL E NAO VISUAL.....	57
2.1	O ser humano e a sua relação com a luz.....	58
2.2	O sistema que percebe a luz no corpo humano: o olho	59
2.3	A curva de sensibilidade visual à luz do olho humano.....	62
2.4	Adaptação e acomodação	64
2.5	O sistema que regula o ciclo circadiano no corpo humano	66
2.6	O envelhecimento humano e sua relação com os fatores associados à iluminação	69
2.7	Impactos da iluminação inadequada nos seres humanos	72
3.	PROJETOS DE ILUMINACAO CONVENCIONAIS	77
3.1	A evolução da configuração dos ambientes de trabalho e de sua iluminação	78
3.2	O processo de projeto de iluminação convencional	86
3.3	Métricas fotópicas: unidades para o sistema visual humano.....	87
3.3.1	Unidades de medida fotométricas do Sistema Internacional do CIE e suas definições.....	88
3.3.2	Índice de Reprodução de Cores (IRC) e Temperatura de Cor Correlata (TCC).....	89
3.3.3	Fontes de luz e a distribuição espectral de potência radiante	92
3.4	Recomendações e legislações relacionadas aos projetos de iluminação	96
3.4.1	Iluminação natural.....	96
3.4.2	Iluminação elétrica.....	100
3.5	Simulação computacional como ferramenta no processo de projeto de iluminação ...	105
3.5.1	Ferramentas de simulação computacional para projeto de iluminação	106
3.5.2	Integração entre simulação de iluminação natural e iluminação elétrica	111
4.	PROJETOS DE ILUMINACAO INTEGRATIVA	113
4.1	Funções de sensibilidade espectral relacionadas ao sistema circadiano	114
4.1.1	Função estímulo circadiano (CS) / luz circadiana (CL _A).....	114
4.1.2	Função de Resposta Melanopsina [Nz(λ)].....	119
4.1.3	Análise comparativa entre as funções circadianas propostas por Lucas et al (2014) e Rea e Figueiro (2018)	123
4.2	Métricas circadianas	124

4.2.1 CIE TN 003:2015 - Irradiância Melanópica ($E_{e,z}$).....	126
4.2.2 DIN SPEC 5031-100 e DIN SPEC 67600.....	130
4.2.3 Lux melanópico equivalente (EML).....	131
4.2.4 Estímulo Circadiano.....	136
4.3 Análise Comparativa entre estrutura de construção do EML e do CS.....	145
4.4 Métodos de projetos de iluminação integrativa.....	146
4.4.1 Projeto de iluminação integrativa com o EML.....	146
4.4.2 Projeto de iluminação integrativa com o CS.....	149
5. METODOLOGIA.....	154
5.1 Estudo piloto: teste das ferramentas de cálculo do EML e do CS e simulação do ambiente hipotético.....	155
5.2 Estudo de caso: projeto de iluminação convencional em um escritório administrativo hipotético e as suas relações com o projeto de iluminação integrativa.....	156
5.2.1 Definição do escritório administrativo hipotético e do perfil dos usuários do espaço.....	157
5.2.2 Estudo de caso – Fase 01: avaliação da influência da orientação solar e do tipo de céu na iluminação natural incidente no escritório administrativo hipotético a partir da perspectiva da norma de iluminação vigente, do EML e do CS.....	159
5.2.3 Estudo de caso – Fase 02: análise de projeto de iluminação elétrica convencional do escritório hipotético a partir das ferramentas de conversão de unidades propostas pelo EML e pelo CS.....	169
6. RESULTADOS.....	181
6.1 Fase 01: avaliação do comportamento da iluminação natural no escritório administrativo hipotético através dos requisitos visuais e não visuais.....	182
6.1.1 Céu encoberto.....	182
6.1.2 Céu Claro.....	186
6.1.2.1 Leste.....	187
6.1.2.2 Norte.....	191
6.1.2.3 Oeste.....	196
6.1.2.4 Sul.....	201
6.1.2.5 Relações entre orientações solares, requisitos visuais e não visuais na iluminação natural.....	205
6.2 Fase 02: análise de projeto de iluminação elétrica convencional do escritório hipotético a partir das ferramentas de conversão de unidades propostas pelo EML e pelo CS.....	208
7. DISCUSSAO.....	221
8. CONSIDERACOES FINAIS.....	229
REFERÊNCIAS.....	235
APENDICE A – ARTIGO PUBLICADO NO VI SBQP EM UBERLÂNDIA 2019.....	249

APENDICE B – FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU ENCOBERTO NA ORIENTAÇÃO NORTE, SUL, LESTE E OESTE ...	261
APÊNDICE C – FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU CLARO NA ORIENTAÇÃO LESTE	273
APÊNDICE D – FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU CLARO NA ORIENTAÇÃO NORTE.....	287
APÊNDICE E – FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU CLARO NA ORIENTAÇÃO OESTE.....	299
APÊNDICE F - FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU CLARO NA ORIENTAÇÃO SUL.....	311
APÊNDICE G – FASE 02: DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DA CONVERSÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO EM EML E CS – 500 LUX (100%)	323
APÊNDICE H – DISCUSSÃO: DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DA CONVERSÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO EM EML E CS DA FONTE 3000K – 400 LUX (70%)	327
APÊNDICE I – DISCUSSÃO: DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DA CONVERSÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO EM EML E CS DA FONTE 3000K – 300 LUX (50%)	329
ANEXO A – COMPRIMENTO DE ONDA (NM) POR DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DE POTÊNCIA RELATIVA DO PADRÃO D65	333
ANEXO B – COMPRIMENTO DE ONDA (NM) POR RADIANCIA ESPECTRAL (NW/M ²) DAS TCC 2700 K, 3000 K, 4000 K, 5000 K, 6500 K.	335



EDIFÍCIO SEAGRAM, NY. PROJETO LUMINOTÉCNICO DE RICHARD KELLY. / FOTO: THOMAS SHIELKE.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Iluminação: a relação entre inovação tecnológica e a arquitetura

A Terra, desde os seus primórdios e muito antes de o homem habitá-la, evoluiu através de ciclos. A luz proveniente do sol integra um dos ciclos mais significativos na vida do homem e de outros seres vivos que compartilham conosco o mesmo meio ambiente: o ciclo do dia e noite. O fotoperíodo¹ não é igual em todos os lugares, variando de acordo com a localização geográfica (latitude) e as estações do ano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Apesar dessas diferenças, uma certeza é inerente: a luz, proveniente de qualquer fonte – natural ou elétrica –, influencia muito mais do que se imaginava há algumas décadas. Ela pode interferir nos ciclos internos do nosso corpo, refletindo diretamente na condição de saúde dos seres humanos (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002; BOYCE, 2003; LUCAS et al., 2014).

A história e a evolução da Arquitetura também estão profundamente ligadas à luz. A necessidade de incorporar a iluminação natural dentro das edificações impulsionou a busca de soluções tecnológicas mais avançadas, inseridas dentro de um discurso ideológico da forma (BOUBEKRI, 2008, 2014; MASCARÓ, 2005). Nesse sentido, Mascaró (2005) relaciona fundamentalmente o processo de inovação tecnológica e a evolução da produção arquitetônica ao longo do tempo com a iluminação.

A relação entre o processo de inovação tecnológica e a evolução da produção arquitetônica é significativa quando a questão tecnológica resulta possível de ser incorporada como fato impulsionador do projeto, sobretudo se está destinada a se converter no discurso ideológico da forma. Assim, a concepção ideológica baseada na valorização da tecnologia como um aspecto importante explicativo da realidade se constitui em marco de referência para ensaiar uma interpretação da relação existente entre a evolução tecnológica e a produção arquitetônica, entre os encontros e os desencontros da iluminação (a tecnologia neste caso) e a arquitetura. (MASCARÓ, 2005, p. 1).

Nunca, até a primeira Revolução Industrial², a humanidade havia experimentado mudanças tão rápidas em vários processos relacionados à sua vida.

¹ O fotoperíodo é a relação da duração do período com a presença de iluminação natural (dia) e de sua ausência (noite) em um intervalo de 24 horas.

² A Revolução Industrial teve início na Inglaterra no século XVIII e, ao longo do século XIX, espalhou-se pela Europa e América do Norte. Ela caracterizou-se por um conjunto de transformações sociais e econômicas que levaram à aceleração do crescimento econômico e tecnológico. Houve a substituição gradual do trabalho artesanal de produtos manufaturados de produção unitária pela produção industrial em larga escala, facilitada pela utilização de máquinas a vapor. Outra característica desse período são as novas relações sociais: uma grande massa popular passa a ter longas jornadas de trabalho dentro de fábricas recebendo um salário (proletariado) e trabalhando para um patrão (ordem burguesa) detentor de todo o lucro do processo produtivo e da matéria-prima (HOBBSAWM, 2013).

Consequentemente, as condições técnicas, econômicas e sociais nas quais os arquitetos baseavam o seu trabalho se modificaram com uma velocidade ainda maior, causando um conflito entre as transformações que ocorriam e os modelos culturais utilizados que representavam um pensamento que estava se tornando ultrapassado. As novas tecnologias desenvolvidas na Revolução Industrial, como a lâmpada incandescente³, permitiram que arquitetos e construtores pudessem trabalhar diferentes configurações de projeto, sendo que as edificações passaram a representar cada vez mais uma submissão ao controle da tecnologia em si do que da tecnologia como uma ferramenta para a arquitetura (BEHLING; BEHLING, 1996; BENEVOLO, 2006).

Em 1914, iniciava-se um dos momentos mais penosos da história da humanidade: a Primeira Guerra Mundial. Centrada na Europa, a guerra se fortaleceu como consequência da Revolução Industrial, uma vez que todo o desenvolvimento de tecnologia foi voltado à indústria bélica. Ao final da guerra, em 1918, cerca de dez milhões de pessoas haviam morrido entre civis e militares. As consequências socioeconômicas foram enormes: cidades absolutamente destruídas; a redução da população masculina; pessoas incapacitadas de forma permanente; propagações de doenças contagiosas; a baixa produção de alimento; população em situação de miséria; a falta de moradias e infraestrutura; e a mudança da configuração do mapa da Europa (BEHLING; BEHLING, 1996; HOBBSAWM, 2011).

O movimento da Arquitetura Moderna surgiu quando problemas socioeconômicos desenvolvidos foram agravados – principalmente na Europa - com o desenrolar da Primeira Guerra Mundial. Contudo, o movimento acabou por ganhar popularidade somente após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) através dos

³ Em 1878, o inventor norte-americano Thomas Edison iniciou seus estudos e registros de patentes da melhoria do sistema de lâmpadas incandescentes adequadas ao uso em residências e escritórios. A lâmpada incandescente inicial era composta por fios de carbono, com pouca emissão de luz, vida útil reduzida e alto gasto energético. A indústria das companhias de gás era estável e tinha todo o monopólio de iluminação artificial sob seu controle, especialmente por sua grande rede de canalizações e baixos preços do insumo. Foi então que, em 1892, para concorrer de forma robusta com essa indústria, Edison revelou ao público tanto a melhoria da tecnologia das lâmpadas incandescentes quanto do sistema gerador e distribuidor de energia elétrica viabilizando seu uso, o que oportunizou o rápido aceite público e um modelo básico que possibilitou o seu subsequente aperfeiçoamento por outros pesquisadores. Apesar de seu alto custo de manutenção e de sua intensidade não ser tão alta quanto a iluminação a gás, a iluminação elétrica oferecia uma melhor solução para os problemas gerados pela queima do gás: (a) gerava menos calor e não produzia fuligem; (b) era um sistema que não necessitava de tanta manutenção; e (c) poderia ser instalado em espaços restritos onde o calor e o ar necessários à iluminação a gás ou a gasolina seriam escassos. A eletricidade e a sua iluminação foram uma evolução muito expressiva para as edificações e fundamental para melhorar as condições consideradas importantes para a arquitetura e para a cidade moderna no século XX (BANHAM, 1969; HARGADON; DOUGLAS, 2001; MASCARÓ, 2005; SCHADE; ORTNER; SMID, 2015).

trabalhos do *Congrès International de l'Architecture Moderne* (CIAM) ⁴, cujos princípios e teorias contribuíram para a reconstrução das cidades europeias. A Arquitetura Moderna não foi somente uma expressão de uma nova imagem estética, mas a essência e a representação das novas condições sociais que foram criadas. Os avanços tecnológicos estimularam novas formas de pensar a edificação, sendo que a nova Arquitetura enfatizava as linhas retas e simples e as formas racionais, incorporando grandes extensões de janelas que maximizaram a entrada de luz natural e ar fresco. Essa nova Arquitetura estava preocupada com a economia, higiene, saúde, e a adaptação da edificação no meio ambiente. A luz, para a Arquitetura Moderna, era um dos elementos primários de projeto, principalmente para os arquitetos mais representativos dessa geração, como Le Corbusier, Frank Lloyd Wright, Mies van der Rohe, Richard Neutra, Philip Johnson e os formados pela escola da Bauhaus (representada por Walter Gropius e seus colaboradores) (BEHLING; BEHLING, 1996; BENEVOLO, 2006; BOUBEKRI, 2014; FRAMPTON, 2015).

Entre esses arquitetos modernos, um profissional se destacou por ser pioneiro na consultoria em projetos de iluminação: Richard Kelly. Com experiência em iluminação cenográfica, Kelly contribuiu para a consolidação da luminotécnica como uma matéria distinta e essencial para a valorização dos programas arquitetônicos, descrevendo a luz como o principal modo pelo qual se compreende e se experimenta o ambiente projetado. O luminotécnico realizou colaborações em projetos de impacto com Mies van der Rohe⁵, Philip Johnson⁶ e Richard Neutra⁷, colaborando com os objetivos estéticos de destaque das estruturas, dos materiais, das linhas retas e das formas racionais das torres de vidro, aço e concreto (PETTY, 2007). Sua reverência e compreensão do comportamento da luz foram promulgadas

⁴ Congresso Internacional de Arquitetura Moderna. Tradução livre da autora.

⁵ Um dos projetos desenvolvidos em conjunto com o arquiteto foi o *Lake Shore Drive Apartments* (1948-51): duas torres de vidro e aço verticais construídas na beira do rio Michigan, em Chicago, EUA. O projeto luminotécnico buscou acentuar a tectônica das colunas como também organizar e unificar opticamente a composição arquitetônica (PETTY, 2007, p.202).

⁶ Um dos projetos desenvolvidos em conjunto com o arquiteto foi a *The Glass House* (1949) em New Canaan, Connecticut, EUA. O projeto luminotécnico se propõe a "destacar o volume do ambiente em que está inserido, com os espaços delimitados por planos ou superfícies finas, em oposição à sugestão de massa e solidez; a trazer a regularidade em oposição à simetria ou a outros tipos de equilíbrio óbvio; e apresentar a dependência da elegância intrínseca dos materiais, a perfeição técnica e as proporções finas, em oposição ao ornamento aplicado" (PETTY, 2007, p.198. Tradução da autora).

⁷ Um dos projetos desenvolvidos em conjunto com o arquiteto foi a *Edgar J. Kaufmann House* (1947) em Palm Springs, Califórnia, EUA. Essa casa ilustra sua experimentação com técnicas que ele iria desenvolver na década seguinte ao projeto, incluindo o forro iluminado, as paredes iluminadas e a iluminação periférica (PETTY, 2007, p 198).

como valores de projeto luminotécnico, conhecidos como: brilho focal (*focal glow*), brilho cintilante (*sparkling brilliance*) e luminescência ambiental (*ambient luminescence*) (KELLY, 1952). Em texto de 1952 (p.30), Kelly expressou que:

“brincar com a luz é brincar com a mágica, demandando: um olho treinado para reconhecer os valores reais e relativos; experiência e conhecimento culturais e psicológicos dos efeitos da luz nas pessoas; experiência e conhecimentos de técnicas físicas para o desenvolvimento dos projetos luminotécnicos”.

No texto, o autor conclui que “a iluminação é tanto uma arte como uma ciência”, demonstrando o pensamento racional que predominava no período moderno (KELLY, 1952, p. 30).

Figura 1 – Apartamentos Lake Shore Drive. Projeto arquitetônico de Mies Van der Rohe e projeto luminotécnico de Richard Kelly (1940).



Fonte: PETTY, 2007.

Concomitantemente aos desdobramentos da Arquitetura Moderna, a lâmpada tubular fluorescente⁸ acabou por ser incorporada ao mercado no fim da Segunda Guerra Mundial (final dos anos 1940), apesar de outras lâmpadas de descarga de gás existirem desde o início do século XX. A inserção da iluminação elétrica e do condicionamento artificial mais eficiente nos interiores das edificações, principalmente de escritórios, influenciou diretamente o desenvolvimento do projeto arquitetônico permitindo plantas baixas mais profundas sem recortes, pés-direitos mais baixos, circulação vertical (elevadores e escadas) e instalações concentradas no seu centro com espaços integrados através do forro. O ar-condicionado e a iluminação elétrica foram inovações tecnológicas que marcaram a história da arquitetura, pois, ao permitirem o controle de quase todas as variáveis climáticas interiores nas edificações, grande parte dos projetos se eximiram de planejar considerando as condições bioclimáticas (BANHAM, 1969; BOUBEKRI, 2014; MASCARÓ, 2005).

Apesar de as edificações apresentarem grandes possibilidades de configurações, naquele período houve tentativas de reprodução do chamado Estilo Internacional⁹. As torres de vidro, aço e concreto se tornaram a metáfora de poder e prestígio pelo mundo estando acima da promoção de um espaço adequado à satisfação do conforto humano, sendo exportadas para outras localidades sem sofrerem as adaptações necessárias ao clima local (BEHLING; BEHLING, 1996; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Segundo Mascaró (2005, p. 4), "*novamente, as inovações tecnológicas tinham mudado os princípios de projeto arquitetônico*".

⁸ A lâmpada tubular fluorescente é formada por uma estrutura tubular cujo interior é coberto com um material à base de fósforo preenchido por um gás inerte a baixa pressão e por dois eletrodos localizados nas suas extremidades. Quando o gás é excitado pela corrente elétrica entre os eletrodos, a ionização do gás gera uma radiação ultravioleta, produzindo a luz visível a partir do contato com o fósforo (STEFFY, 2008).

⁹ Estilo Internacional é como Henry-Russell Hitchcock, em seu livro *Modern Architecture: Romanticism and Regionalism* (1929), refere-se à arquitetura racionalista-funcionalista produzida entre os anos 1920 e 1950, principalmente nos países europeus (Alemanha, França e Holanda). Esse tipo de arquitetura confunde-se muito com a Arquitetura Moderna, que tem um significado mais amplo e relaciona-se com toda a obra que foi desenvolvida na Europa, nos Estados Unidos e em outros países, como o Brasil.

Figura 2 - Interiores de escritórios das torres de vidro, aço e concreto



Fonte: Office Museum, ([s.d.])

As consequências do baixo desempenho energético das edificações desenvolvidas nesse período ficaram evidentes na crise de energia e no embargo de petróleo em 1973¹⁰, quando ocorreu um despertar mundial sobre a quantidade desenfreada de energia que as edificações estavam consumindo. Além das consequências energéticas, foram identificadas condições de conforto que acabaram por fazer surgir problemas de saúde nos habitantes potencialmente relacionados às condições dos edifícios. A *síndrome dos edifícios doentes* (SED¹¹) é o termo utilizado para identificar a situação na qual os ocupantes de uma edificação experimentam efeitos agudos relacionados à saúde ou ao conforto que parecem estar diretamente vinculados ao tempo despendido dentro da edificação, não se identificando especificamente se são fatores únicos ou um conjunto deles. Entretanto, especula-se que, entre as possíveis causas dessa síndrome, estão a má qualidade do ar interno, a falta de ventilação natural, o condicionamento de ar deficiente, as condições acústicas inadequadas e a pouca ou nenhuma presença de luz natural. Essas deficiências de planejamento da edificação propiciam um meio

¹⁰ A crise de energia e o embargo do petróleo em 1973 resultaram em uma crise de consequências mundiais. Após a Segunda Guerra Mundial, os principais produtores de petróleo se deram conta do poder de barganha que tinham em mãos. Com isso, em 1960, criaram a OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), formada por Arábia Saudita, Kuwait, Irã, Iraque e Venezuela. No ano de 1973, após uma reunião da OPEP, os países membros resolveram aumentar o preço do barril do petróleo de modo significativo e diminuir a produção. Isso não tinha somente uma intenção econômica como também política, após a intervenção dos Estados Unidos da América no conflito de Israel com os países árabes. As consequências foram péssimas para a economia mundial, completamente dependente da energia gerada por essa fonte. A crise só cessou em 1974 deixando sequelas na economia mundial (HOBSBAWM, 2011).

¹¹ Da sigla: *Sick Building Syndrome* (SBS). Terminologia traduzida a partir de texto de STERLING, COLLET e RUMEL (1991).

ambiente onde podem se desenvolver microrganismos que causam reações danosas à saúde dos seres humanos. Assim, a resolução desses problemas ganhou um enfoque multidisciplinar, envolvendo engenheiros, arquitetos e epidemiologistas (BOUBEKRI, 2008; STERLING; COLLETT; RUMEL, 1991).

A partir desse momento, a pesquisa arquitetônica e a sua prática acabaram por tomar um novo rumo, sendo que a qualidade de vida e o conforto humano passaram a ser considerados em conjunto com as estratégias de economia de energia. Normativas e estudos relacionados à *percepção visual*¹², ao *conforto visual*¹³ e ao *bem-estar*¹⁴ do usuário foram desenvolvidos, atrelados às normativas que melhoraram a eficiência e a qualidade dos sistemas de iluminação elétricos. Ao mesmo tempo, a luz natural voltou a ser reconhecida como uma importante fonte para a iluminação de interiores, tanto para a economia de energia como para a promoção de um ambiente mais adequado às necessidades de conforto visual (BOUBEKRI, 2014; MASCARÓ, 2005).

No início dos anos 2000, lâmpadas incandescentes e fluorescentes eram responsáveis por 6,5% da energia mundial. No Brasil, cerca de 14% da energia elétrica produzida era direcionada à iluminação, segundo dados de 2005 (ELETROBRAS, 2007). Por isso, investimentos foram realizados por legisladores em busca de uma tecnologia com maior eficiência luminosa. Dessa forma, pesquisas foram realizadas visando à melhoria da lâmpada fluorescente e ao desenvolvimento de novas tecnologias como fonte de luz. Naquele momento, a lâmpada fluorescente compacta (LFC)¹⁵ foi considerada a tecnologia mais eficaz e econômica, apesar dos grandes problemas de poluição ambiental que gerava. Contudo, na mesma época,

¹² *Percepção visual* é uma das várias formas de percepção associadas aos sentidos dos seres humanos. O ambiente luminoso é transformado em imagem da retina através de estímulos para o nosso cérebro, gerando informações que permitem a percepção visual com a finalidade de reconhecer objetos e superfícies, o que forma a base visual para o ambiente percebido. Ela pode variar dependendo: (1) do estado de adaptação do sistema visual; (2) de diferentes panos de fundo; e (3) das nossas experiências e conhecimentos pessoais (BOYCE, 2003).

¹³ *Conforto visual* é a ausência do desconforto visual. As percepções de conforto estão vinculadas à sensação de bem-estar e a estética, que variam pouco de acordo com o tempo. A maior parte das normativas atuais está relacionada com a eliminação do desconforto visual, enquanto informam como os profissionais de iluminação devem promover o conforto visual. As sensações de desconforto podem estar relacionadas a: (1) uniformidade visual, (2) ofuscamento, (3) reflexão das superfícies, (4) sombras, e (5) cintilação (BOYCE, 2003).

¹⁴ A sensação de *bem-estar* depende de vários fatores, tanto psicológicos como psicobiológicos. Ela pode variar, também, de acordo com as características individuais do usuário, como idade, cultura e outros vários mecanismos. Entretanto, na sensação de bem-estar, o comportamento do indivíduo será positivo ao ambiente iluminado (VEITCH, 2001).

¹⁵ Tradução livre da autora da expressão *Compact Fluorescent Lamps (CFL)*. Na versão em português, comercialmente se utiliza a sigla formada pelas palavras do nosso idioma.

uma nova tecnologia mais eficiente e com emissão de uma fonte de luz mais intensa foi viabilizada para uso em iluminação arquitetônica: os *light emitting diodes* (LED)¹⁶ (CHO et al., 2017; HAITZ; TSAO, 2011; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

No entanto, as lâmpadas incandescentes e fluorescentes menos eficientes permaneceram sendo utilizadas até 2009. Naquele ano, a Comissão Europeia começou a retirar as incandescentes convencionais do mercado, as quais foram gradualmente substituídas pelas lâmpadas LFC e LED (ZIELINSKA-DABKOWSKA, 2018). No Brasil, de acordo com o cronograma da Portaria Interministerial nº1007 (2010), as lâmpadas incandescentes deixaram de ser produzidas em 2012 e paulatinamente foram sendo substituídas da mesma forma pelas tecnologias LFC e LED, até sua total proibição a partir de 30 de junho de 2016 (MME, 2016).

Paralelamente a esses acontecimentos, entre as décadas de 1960 e 1970, outro campo de estudo, a Cronobiologia¹⁷, ganhava status de disciplina científica (ARAUJO; MARQUES, 2002). Estudos desenvolvidos no final da década de 1980 demonstraram que a luz suprime a produção de melatonina no corpo humano e que uma luz mais intensa em horários inadequados poderia desregular o ciclo do sono-vigília¹⁸ nos seres humanos (CZEISLER et al., 1986; LEWY et al., 1980). Em 1998, os fotorreceptores ipRGC¹⁹ dentro do globo ocular humano foram identificados pela primeira vez por Ignacio Provencio et al. (1998), esclarecendo que fisiologicamente a luz tem uma influência muito maior nos seres humanos, associando-se a outras funções que não somente à visão. Simultaneamente, as pesquisas que tiveram o

¹⁶ Em português, diodos emissores de luz (LED). Comercialmente se mantém a sigla utilizada em inglês. O LED é formado por um componente eletrônico semicondutor que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz diretamente na matéria, por isso essa fonte é conhecida também como *estado sólido de luz* (Solid State Lighting – SSL) (DILAURA et al., 2011).

¹⁷ Segundo ARAUJO e MARQUES (2002, p. 96), "a Cronobiologia é uma disciplina científica que se caracteriza como um ramo da ciência que estuda a organização temporal dos seres vivos. Como organização temporal, compreendemos a capacidade dos seres vivos de expressarem seus comportamentos e controlarem sua fisiologia de uma forma recorrente e periódica. A essa recorrência periódica damos o nome de ritmos biológicos. Por isso, podemos também definir a Cronobiologia como o ramo da Biologia que estuda os ritmos biológicos". A disciplina da Cronobiologia é uma área multidisciplinar da ciência, atraindo profissionais de várias áreas, inclusive das Ciências Sociais, como a Arquitetura.

¹⁸ O estado de sono-vigília é o resultado de um dos processos mais importantes do sistema circadiano no corpo humano, quando dormimos ou permanecemos acordados (BOYCE, 2003). O processo varia entre o passeio do sono (homeostático) e a força de alerta (circadiana), sendo que apresenta funcionamentos diferentes entre espécies (REA; FIGUEIRO, 2011). O sono é o "estado de inconsciência do qual a pessoa pode ser despertada com estímulos sensoriais ou outros estímulos", sendo necessário para reestabelecer o equilíbrio corporal e mental (GUYTON; HALL, 2011). O estado de vigília é regulado pelo *núcleo supraquiasmático* (NSQ) atingindo um pico durante o início da noite e uma queda durante a segunda metade da noite (REA; FIGUEIRO, 2011).

¹⁹ Fotorreceptor é uma célula ou grupo de células especializadas que contém pigmentos assimiladores e são sensíveis à luz. Berson, Dunn e Takao (2002) identificaram as "células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis" (ipRGC) a partir do fotopigmento melanopsina, que os torna sensíveis a luz.

maior destaque nas duas últimas décadas foram apresentadas por dois grupos de médicos: o primeiro é formado por David Berson, Felice Dunn e Motoharu Takao (2002); e o segundo é formado pelos médicos Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash e Michael W. Young (Figura 3), que descobriram os mecanismos moleculares que controlam os ritmos circadianos²⁰ do corpo humano, levando-os a ganhar o prêmio Nobel de Medicina em 2017 (IBÁÑEZ, 2017).

Figura 3 - Hall, Rosbash e Young, ganhadores do NOBEL de Medicina de 2017.



Fonte: IBÁÑEZ, 2017.

A partir dessas descobertas, as pesquisas voltadas à iluminação iniciaram uma nova trajetória na qual a luz não é mais considerada somente um elemento para melhorar a percepção e o conforto visual e consumir a menor quantidade de energia possível, mas também um importante elemento para a regulação do sistema circadiano. Todas essas descobertas são importantes para a iluminação, contudo a regulação circadiana tem processos biofísicos muito diferentes daqueles que controlam a visão, o que provocou aquilo que podemos chamar de uma nova revolução na área de projeto de iluminação (REA; FIGUEIRO; BULLOUGH, 2002; WALERCZYK, 2012).

Novamente, as inovações tecnológicas na área de iluminação (principalmente os LEDs) e o avanço científico no conhecimento do funcionamento

²⁰ Os ritmos de funcionamento do corpo humano são controlados a partir do sistema circadiano, sendo um deles o ciclo de sono-vigília. O mecanismo do sistema circadiano será abordado ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

do corpo humano (a Cronobiologia) voltam a impactar os princípios de projeto arquitetônico, exigindo novas formas de pensar a luz dentro das edificações.

Novas tecnologias e formas de perceber o mundo estão e continuarão desencadeando mudanças profundas no sistema econômico e nas estruturas sociais nessa última década. Esse momento está sendo chamado de a Quarta Revolução Industrial²¹, uma consequência da Revolução Digital²², que iniciou no século XX e perdura após a virada do século XXI. Essa nova revolução é caracterizada por uma internet móvel e onipresente, na qual encontramos sistemas muito mais eficientes que utilizam Inteligência Artificial e Aprendizado da Máquina²³, tecnologias que estão transformando as sociedades e a economia global. Com isso, temos Fábricas Inteligentes²⁴, Sistemas Ciberfísicos²⁵ e Internet das Coisas²⁶, que estão se difundindo de forma mais rápida e ampla que as revoluções anteriores, interferindo em todos os setores em nível mundial. Simultaneamente à evolução da área digital, áreas como a de sequenciamento genético e nanotecnologia estão se desenvolvendo de forma acelerada. A interdisciplinaridade entre os domínios físicos, digitais e biológicos é que torna essa revolução completamente diferente das anteriores, acarretando uma profunda customização de produtos e processos que conduz à criação de novos modelos de operação (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; SCHWAB, 2016).

²¹ Tradução livre da autora do termo *Fourth Industrial Revolution* (SCHWAB, 2016). Outro termo utilizado é Indústria 4.0 (tradução da autora do termo *Industry 4.0*), utilizado pelos países de língua alemã (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

²² A Revolução Digital ou a Terceira Revolução Industrial aconteceu entre o final dos anos 1950 e persiste até hoje. Essa revolução foi responsável pela substituição dos sistemas analógicos pelos sistemas digitais, com a inserção dos computadores domésticos e da internet (SCHWAB, 2016).

²³ Tradução livre da autora do termo *Machine Learning*.

²⁴ Tradução livre da autora do termo *Smart Factories*. Fábricas Inteligentes são definidas como fábricas que reconhecem o seu contexto e auxiliam pessoas e máquinas na execução de suas tarefas. Isso é possível através das informações provenientes tanto do mundo físico como do virtual (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

²⁵ Tradução livre da autora do termo *Cyber-Physical Systems* (CPS). Sistemas Ciberfísicos combinam máquinas com processos digitais, que são capazes de monitorar e controlar processos físicos, acarretando a cooperação entre as máquinas e, também, entre elas e seres humanos (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

²⁶ Tradução livre da autora do termo *Internet of Things* (IoT). A Internet das Coisas possibilita que objetos do dia a dia se interliguem à rede mundial de computadores, permitindo que esses objetos possam ser acessados de qualquer lugar e interajam entre si, aprendendo a predileção do usuário para atingir objetivos em comum. Ela permite, ainda, que eletrodomésticos, casas inteligentes, meios de transporte e objetos de uso pessoal se interliguem a outros dispositivos, como computadores e smartphones (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

1.2 O conceito de Iluminação Integrativa (*Integrative Lighting*)

A edição do *American Journal of Public Health*²⁷, ainda no início dos anos 2000, publicou uma edição completamente dedicada à relação entre a saúde pública e o ambiente construído. No editorial da revista, Jackson (2003) salienta que os atuais e futuros desafios estão relacionados às pesquisas que elencam a relação entre o meio ambiente e a saúde.

A geração atual enfrenta seus próprios desafios. Um desses desafios é o de entender melhor a extensa relação do nosso ambiente construído na saúde e então construir futuras comunidades que favoreçam a saúde mental e física. [...] Recentemente constatamos que a forma com a qual projetamos o ambiente construído pode ter um gigantesco potencial para tratar muitos dos maiores problemas de saúde pública atuais (JACKSON, 2003, p. 1383)²⁸.

Mais que isso, o editorial enfatiza que existe a necessidade não só de entender essas relações entre o ambiente construído e a saúde de seus habitantes como também de considerá-las de forma interdisciplinar, incluindo profissionais da saúde e todos aqueles relacionados ao planejamento e à construção, seja na escala residencial ou urbana.

É a hora de mudarmos para comunidades intencionalmente planejadas no sentido de facilitar o bem-estar físico e mental. [...] O primeiro passo é o de entender os elementos do ambiente construído que promovem a saúde [...]. Mas, além de tudo isso, existe muito a ser aprendido sobre os efeitos do ambiente construído na saúde [...]. Para direcionar os questionamentos, profissionais de saúde pública precisam trabalhar próximos aos especialistas em outras áreas: arquitetos, urbanistas, políticos, cientistas sociais, engenheiros de tráfego, desenvolvedores, agentes da lei, economistas, divulgadores sociais e outros (JACKSON, 2003, p. 1383).²⁹

Apesar dessa necessidade de interação entre as disciplinas, em texto de 2017, Zielinska-Dabkowska e Bochnak (2017) expõem que, independentemente de toda a evolução tecnológica no momento atual, raramente essa oportunidade é utilizada

²⁷ Jornal Americano de Saúde Pública. Tradução livre da autora.

²⁸ Tradução livre da autora do trecho: "The current generation now faces its own challenges. One challenge is to better understand the broad impact of our built environment on health and then to build future communities that promote physical and mental health. [...] We now realize that how we design the built environment may hold tremendous potential for addressing many of the nation's greatest current public health concerns [...]."

²⁹ Tradução livre da autora do trecho: "it is time for a shift to communities intentionally designed to facilitate physical and mental well-being. [...] The first step is to understand better the elements of the built environment that promote health. [...] But overall, there is still much to learn about the effects of the built environment on health. [...] To address the multitude of questions, public health professionals must work closely with experts in other fields: architects, planners, policymakers, social scientists, traffic engineers, developers, law enforcement officers, economists, social marketers, and others."

como vantagem para melhorar a qualidade de vida. As autoras enfatizam que pesquisas multidisciplinares podem ser uma oportunidade para promover ambientes mais sustentáveis e saudáveis de forma intencional, assumindo um papel central no futuro e formando o diálogo base entre a pesquisa e a prática projetual.

Uma forma de projetar para promover o equilíbrio entre o indivíduo e o meio no qual ele vive é considerar os fatores humanos³⁰ nesse processo. Considera-se que, para prover uma melhor qualidade de vida ou um melhor desempenho, deve-se compreender como o ser humano funciona biologicamente e ergonomicamente, criando uma interface entre o ser humano e o sistema ambiental. Portanto, admite-se que o resultado dessa ação produzirá algo mais adequado às necessidades do usuário final (CZAJA; NAIR, 2012). Nessa linha, a arquitetura vem desenvolvendo projetos cujas especificações devem maximizar a interação humana com o ambiente em que está inserido, proporcionando total controle do ambiente³¹. Além disso, projetos arquitetônicos vêm sendo desenvolvidos em sistemas computacionais CAD (*Computer Aided Design*) e BIM (*Building Information Modeling*), nos quais sistemas complexos com integrações de diversas informações técnicas construtivas são inseridos em um mesmo ambiente por profissionais de diferentes especialidades que trabalham em conjunto em uma mesma plataforma. Dentro desse contexto, a chamada *iluminação centrada nos fatores humanos*³² considera o sistema fotobiológico humano como um fundamento de planejamento para o sistema de iluminação. O planejamento do projeto luminotécnico adequado não irá interferir no funcionamento do sistema circadiano, com o benefício de economizar energia elétrica, provendo um ambiente mais sustentável em todos os sentidos (WALERCZYK, 2012).

Contudo, apesar dos avanços relacionados às descobertas da Cronobiologia sobre o sistema circadiano, - como as pesquisas de Provencio et al. (1998), de Berson, Dunn e Takao (2002) e de Hall, Rosbash e Young (apud IBÁÑEZ, 2017) - ainda está em

³⁰ Tradução livre da autora do termo *human factors*. Os fatores humanos são definidos como uma disciplina científica com o interesse no entendimento das interações entre humanos e outros elementos de um sistema que, utilizando princípios, dados e outros métodos para projetar, tem o objetivo de aperfeiçoar o bem-estar e o sistema humano (SALVENDY, 2012).

³¹ As abordagens centradas no usuário propõem especificações gerais que permitem a personalização do ambiente de acordo com as preferências do usuário. Projetos residenciais estão sendo desenvolvidos com "assistentes pessoais" com inteligência artificial, que podem controlar todos os aparelhos eletrônicos e de climatização de acordo com a preferência do usuário.

³² Tradução livre da autora do termo *Human Centric Lighting*.

discussão a forma correta de se projetar a iluminação integrativa, uma vez que a maior parte das recomendações atuais sobre iluminação está focada em métricas para desempenho de tarefas visuais. Para isso, métricas diferentes daquelas que utilizam a iluminância como variável de projeto (*lux fotópico*)³³ estão sendo desenvolvidas e testadas, pois a regulação circadiana é influenciada de uma forma diferente do que a visão pela luz (LANG, 2011; REA; FIGUEIRO, 2011). Essa questão fica evidente com as lâmpadas que usam tecnologia LFC e LED, já que muitas das fontes luminosas são extremamente eficientes em economia de energia promovendo um ambiente que respeita os parâmetros adequados à acuidade visual. Entretanto, pesquisas mostraram que o espectro de luz azul³⁴, maior nesses tipos de fontes luminosas, pode afetar diretamente as funções fisiológicas, causando a supressão da melatonina se utilizado à noite e por longos períodos, o que pode transmitir sinais equivocados de que é dia para o fotorreceptor “enganando-o” e alterando o funcionamento do sistema circadiano. O mau planejamento da iluminação e o excesso de luz noturna, relacionados com outros fatores ambientais e históricos de saúde individual, podem estar associados com o aumento do risco potencial de desenvolvimento de diversas doenças (LOCKLEY; BRAINARD; CZEISLER, 2003; TOSINI; FERGUSON; TSUBOTA, 2016). Os sistemas circadianos dos seres humanos apresentam diferentes respostas de sensibilidade à luz entre si, mesmo quando os usuários se encontram sob a mesma iluminação de um ambiente, o que pode acarretar em diferentes vulnerabilidades à disrupção circadiana e subsequente impactos na saúde humana (PHILLIPS et al., 2019). Em razão disso, existe a necessidade urgente de definir métricas e parâmetros que possam ser utilizados em projetos de iluminação.

Em um primeiro momento, os estudos para o desenvolvimento de uma nova métrica se concentraram em elaborar uma função matemática representativa da sensibilidade circadiana ao espectro da luz visível, baseados em uma sequência de pesquisas médicas, como as de Brainard et al. (2001) e Thapan, Arendt e Skene(2001). Essa função espectral é fundamental, pois, a partir dessa sensibilidade, as unidades

³³ O *lux fotópico* (lux) é uma unidade de medida do Sistema Internacional (SI), que mede a quantidade de lúmens (lm) por metro quadrado (m²) em uma superfície (LECHNER, 2015, p. 368–369).

³⁴ O espectro de luz visível é a radiação eletromagnética perceptível pelo olho humano, formando as cores do arco-íris, indo de 380 nm (luz azul) até 770 nm (vermelho). O LED emite um espectro de luz azul por volta de 470 nm (STEFFY, 2008).

de medida variam, assim como as métricas já utilizadas em iluminação para visão³⁵. Assim, uma série de estudos foi desenvolvida na intenção de determinar a real sensibilidade do sistema circadiano. Gall e Bieske (2004), Lang (2011) e Rea (2005) foram alguns dos autores que desenvolveram propostas de funções para essa finalidade.

As funções de sensibilidade circadiana, com diferentes conceitos e calibrações, poderiam causar uma confusão nos parâmetros básicos para o desenvolvimento de uma nova métrica ou gerar uma sequência de métricas diferentes. Por isso, cientistas e pesquisadores da área de medicina e de iluminação se reuniram no *First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry*³⁶, que ocorreu na Universidade de Manchester (Reino Unido), em janeiro de 2013, para definir uma função padrão. Nesse grupo de trabalho, foi determinada uma função de sensibilidade para cada um dos fotorreceptores do olho humano, gerando uma métrica distinta de iluminância característica. O resultado do trabalho foi divulgado em artigo de Lucas et al. (2014), no qual foi apresentado o conceito de *lux melanópico equivalente* (z-ópico lux), referindo-se a uma unidade de iluminância relacionada diretamente com o ipRGC e com sua função de sensibilidade espectral (função de resposta melanopsina - $N_z(\lambda)$), além da sensibilidade individual de outros fotorreceptores do sistema circadiano à luz.

A discussão mais recorrente nos últimos anos está centrada precisamente nas funções de sensibilidade espectral utilizadas para a determinação das métricas circadianas, além dos conceitos que constituem as novas unidades (CLARK; LESNIAK, 2017; JACOBSEN, 2019). Lucas et al (2014) derivam a sua unidade métrica (z-ópico lux) da função de sensibilidade espectral do ipRGC (função de resposta melanopsina - $N_z(\lambda)$), como explicado anteriormente, criando uma unidade que experimenta se aproximar do *lux fotópico* (lux). Rea e Figueiro (2018) determinaram novos conceitos e criaram duas novas unidades: CL_A ³⁷ é a *sensibilidade espectral* e o CS , a *sensibilidade absoluta* do sistema circadiano humano. Portanto, existe uma diferença

³⁵ As métricas utilizadas para a iluminação voltada para a visão são baseadas em uma curva de sensibilidade espectral do olho humano. Essa função é chamada de *função de eficiência fotópica luminosa* [$V(\lambda)$]. Isso será abordado no Capítulo 3.

³⁶ Primeiro grupo de trabalho internacional em fotometria circadiana e neurofisiológica. Tradução livre da autora.

³⁷ O CL_A passou por uma série de modificações ao longo dos desenvolvimentos. Primeiramente, era identificado como *função de sensibilidade do estímulo circadiano* (REA et al. 2005, 2012). Contudo, foi definida uma nova nomenclatura e conceitos diferentes no estudo final de desenvolvimento da métrica atual.

entre as métricas, tanto em função de sensibilidade espectral quanto em conceitos, gerando impacto na iluminância vertical e horizontal e, por consequência, no processo de projeto de iluminação.

Projetos de iluminação para o sistema não visual humano já estão sendo realizados, principalmente com o *lux melanópico* equivalente (z-ópico lux), com as recomendações da TN003:2015³⁸ e, recentemente, da CIE S026:2018 (CIE, 2018) e dos que seguem as determinações da *WELL Standard* (EML). No caso do *estímulo circadiano* (CS), os projetos de iluminação foram desenvolvidos somente em pesquisas acadêmicas e estão se encaminhando para uma regulação.

Existe uma intensa discussão entre órgãos reguladores³⁹ sobre qual seria a métrica circadiana mais adequada para se utilizar em projeto (JACOBSEN, 2019). Enquanto o CS está desenvolvendo a "UL RP 24480 (2019) - Recomendação prática e guias de projeto para prover iluminação circadiana para pessoas em atividades diurnas⁴⁰" em conjunto com a *Underwriters Laboratories* (UL),

a Illuminating Engineering Society (IES) mantém a posição de que qualquer recomendação prática relacionada à luz e saúde deve ser um documento de consenso desenvolvido através de um processo credenciado pelo American National Standards Institute (ANSI) [e que] o IES insiste à indústria de iluminação que proceda com cautela quando considerar um documento de não consenso para projeto, aplicação, qualificação de produtos ou propósitos regulatórios⁴¹.

Na Europa, todavia, a *Comission Internationale de l'Eclairage* (CIE)⁴² estabeleceu a *CIE S026:2018* (CIE, 2018) como uma norma internacional que regulamenta as funções, quantidades e métricas de sensibilidade espectral de cada

³⁸ A TN003:2015 (PRICE et al., 2015) se refere a uma nota técnica emitida pela *Comission Internationale de l'Eclairage* (CIE), que esclarece alguns consensos sobre a iluminação voltada ao sistema não visual humano. Esse documento foi formulado após um workshop em Manchester, Reino Unido, com os principais pesquisadores mundiais sobre o assunto.

³⁹ Nos Estados Unidos da América (EUA), existem diferentes órgãos reguladores de normas para iluminação. A *Illuminating Engineering Society* (IES) é a "autoridade técnica" em iluminação, desenvolvendo normas de acordo com as recomendações da *American National Standards Institute* (ANSI) (órgão equivalente à ABNT no Brasil). Já o *Underwriters Laboratories* (UL) é responsável por realizar a certificação de produtos (equivalente ao Inmetro no Brasil). A *Comission Internationale de l'Eclairage* (CIE) é uma "autoridade técnica" em iluminação que atua predominantemente na Europa.

⁴⁰ Tradução livre da autora da expressão "*Recommended Practice and Design Guideline for Promoting Circadian Entrainment with Light for Day-Active People*".

⁴¹ Tradução livre da autora do trecho: "*The IES maintains the position that any Recommended Practice related to light and health should be a consensus document developed through an accredited American National Standards Institute process. [...] The IES urges the lighting industry to exercise caution when considering a non-consensus document for design, application, product qualification or regulatory purposes*" (IES, 2019).

⁴² Comissão Internacional em Iluminação (CIE). Essa é a autoridade e a organização internacional que define os padrões, metrologias e procedimentos utilizados na indústria da iluminação e projetos luminotécnicos.

um dos cinco fotorreceptores que podem contribuir, por meio das ipRGCs, para os efeitos não visuais da luz em humanos, incluindo informações sobre os efeitos da idade e do campo de visão.

Nos últimos anos, para distinguir a iluminação voltada à percepção visual daquela causadora de efeitos no sistema não visual em seres humanos, alguns termos foram surgindo, como *human-centric lighting (HCL)*, *iluminação circadiana* e *iluminação biodinâmica*. Contudo, a CIE, em um pronunciamento de posicionamento da instituição⁴³ em outubro de 2019, informou que o vocabulário recomendado para descrever a iluminação que está planejada com o intuito de atender aos requisitos visuais e não visuais dos seres humanos é "*iluminação integrativa (integrative lighting)*"⁴⁴. Portanto, esse será o termo utilizado ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Esta dissertação pretende contribuir, no âmbito da Arquitetura, com a discussão sobre o impacto que as métricas circadianas causam e continuarão causando no processo do projeto de iluminação. Por essa razão, apesar de não existir um conhecimento consolidado de como projetar a iluminação para que ela atenda às questões fisiológicas relacionadas com o sistema circadiano, a pesquisa se mostra relevante ao testar o que a comunidade científica vem desenvolvendo. Explorando as ferramentas disponíveis, busca-se transferir esse conhecimento, mesmo que incompleto, aos projetistas de iluminação. Por fim, sendo conhecida a influência da iluminação na saúde do homem, a pesquisa pretende alertar sobre a responsabilidade dos profissionais no planejamento de uma iluminação adequada ao sistema não visual humano.

1.3 Problema de pesquisa

O problema de pesquisa formulado a partir da revisão da literatura⁴⁵ relaciona os impactos dos efeitos não visuais da luz nos seres humanos, o projeto de iluminação

⁴³ CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light - Recommending proper light at the proper time, 2nd edition (CIE, 2019b).

⁴⁴ Entende-se que esse é o melhor termo para traduzir a expressão em inglês "*integrative*". Segundo o dicionário Michaelis (2020), "*integrativo*" é "aquele que integra ou completa", enquanto "*integrado*" é "aquele que se integrou". Portanto, a palavra *integrativo* é a expressão que mais se aproxima do termo proposto pelo pronunciamento do CIE (CIE, 2019b), que quer dar o sentido de que a iluminação é *completa*.

⁴⁵ O desenvolvimento desta proposta de dissertação teve início com a revisão da literatura para a fundamentação teórica relacionada à iluminação integrativa aplicada à arquitetura, bem como com a identificação do estágio atual do conhecimento sobre o tema. Como o tema é recente no Brasil, principalmente quando falamos em projeto

e as métricas circadianas. A pergunta de pesquisa é: *Quais os impactos as métricas lux melanópico equivalente (z-ópico lux/EML) e estímulo circadiano (CS) causarão no processo e no resultado do projeto de iluminação?*

1.4 Objetivos e delimitações

O objetivo geral deste estudo é **identificar a relação entre o processo de projeto luminotécnico convencional (que atende às legislações vigentes) e o processo de projeto de iluminação integrativa (que incorpora a iluminação circadiana) considerando as duas métricas mais utilizadas atualmente: lux melanópico equivalente (z-ópico lux/EML) e estímulo circadiano (CS).**

Os objetivos específicos são:

- compreender os princípios básicos para o entendimento das métricas de iluminação integrativa e iluminação convencional;
- verificar as legislações de iluminação atuais e seu resultado no projeto luminotécnico convencional;
- identificar as principais métricas de iluminação integrativa desenvolvidas a partir de 2002 até o presente momento;
- verificar os métodos propostos de projeto de iluminação integrativa através de seus procedimentos, ferramentas e de outros projetos de iluminação anteriormente desenvolvidos;
- identificar as potencialidades e limitações das duas métricas circadianas mais utilizadas atualmente;
- avaliar a influência da orientação solar e do tipo de céu na iluminação natural incidente no ambiente hipotético a partir da perspectiva da legislação de iluminação vigente e das duas métricas circadianas mais utilizadas atualmente;

de iluminação integrativa aplicada à arquitetura, foi necessário realizar buscas por bibliografias internacionais, principalmente em língua inglesa e alemã. Para isso, portais de busca como "periódicos CAPES", "Web of Science", "EBSCO", "PubMed", "Google Scholar", "Scopus", "SciELO" e outros foram utilizados. Os termos utilizados nas buscas foram: *lighting*, *lighting health*, *circadian*, *circadian lighting*, *circadian metric*, *circadian architectural*, *architectural lighting*, e *human centric lighting*. A busca se concentrou em artigos completos avaliados por pares, incluindo na pesquisa nas áreas de Cronobiologia, Ciências do Sono, Medicina, Saúde Pública, Psicologia, Biologia, Endocrinologia e Engenharia Elétrica. O intervalo de tempo utilizado para o início das pesquisas concentra-se desde o ano de descoberta dos fotorreceptores ipRGC por Berson, Dunn e Takao (2002) em 2002, até as últimas atualizações possíveis na publicação da proposta de dissertação. Contudo, após uma primeira leitura, verificou-se a necessidade de incluir um pequeno número de bibliografias estritamente importantes para o entendimento do processo de construção das métricas de iluminação que são anteriores ao período mencionado. Essas bibliografias foram acrescentadas quando apareciam como referência bibliográfica de, pelo menos, três artigos selecionados com os primeiros critérios.

- analisar um projeto luminotécnico convencional a partir das ferramentas de conversão de unidades propostas pelas duas métricas circadianas mais utilizadas atualmente para o desenvolvimento de uma iluminação integrativa, investigando as diferenças e similaridades entre seus métodos e sensibilidades.

Esta pesquisa está delimitada pelas estratégias projetuais de iluminação com base em métricas circadianas desenvolvidas por pesquisas reconhecidas internacionalmente no meio científico. Esta dissertação não se propõe a elaborar uma métrica circadiana, mas a realizar uma discussão sobre o resultado de sua aplicação no espaço arquitetônico e no sistema de iluminação gerado. Aspectos relacionados à eficiência energética não são parte do escopo deste trabalho, assim como o desenvolvimento de produtos específicos, como lâmpadas e luminárias. Entretanto, serão considerados esses produtos, estratégias e outros fatores arquitetônicos como parte do processo de projeto. Este trabalho não será direcionado à iluminação como terapia para determinadas doenças, e sim à abordagem da iluminação adequada para que pessoas permaneçam saudáveis e não venham a desenvolver doenças futuras em virtude de um projeto desenvolvido de forma equivocada. Por fim, este estudo não tem como objetivo substituir as formas tradicionais de tratamento de doenças relacionadas à iluminação e nem se sobrepõe a diagnósticos e procedimentos sugeridos por profissionais da saúde, tendo como resultado apenas uma discussão sobre as diferenças visuais e de distribuição da iluminação no espaço arquitetônico geradas pelos diferentes métodos de projeto.



OLHO HUMANO E A LUZ. / FOTO: HARRY QUAN em UNSPLASH

2. O SER HUMANO, SEU SISTEMA VISUAL E NÃO VISUAL

O sistema visual humano e o sistema circadiano humano, apesar de se originarem a partir de um mesmo sistema do corpo humano (o olho), têm funcionamentos completamente diferentes. Este capítulo aborda as similaridades e as diferenças das constituições fisiológicas dos sistemas visual e circadiano humano, seus funcionamentos e sua influência no conforto visual e na saúde do corpo humano. Ele também discorre sobre as diferenças do sistema visual humano com o progresso da idade e sobre as consequências nocivas da má qualidade da iluminação na saúde humana.

2.1 O ser humano e a sua relação com a luz

Mediante a movimentação da Terra, temos um dos mais importantes ciclos para a existência da vida no planeta: o ciclo do dia e noite. Ao longo do tempo, os seres humanos evoluíram sob a luz natural e, por essa razão, adaptaram-se ao período diurno (HAANS, 2014). Da mesma forma, a história da Arquitetura evoluiu em busca do melhor aproveitamento da luz natural, impulsionando novas soluções tecnológicas em conjunto com o discurso ideológico da forma (MASCARÓ, 2005).

A luz natural tem seu percurso do amanhecer ao pôr do sol, variando suas propriedades em relação à latitude, às condições geográficas, aos horários ao longo do dia e das estações do ano. Uma das características mais proeminentes da luz natural é a sua variabilidade em intensidade, composição espectral e distribuição (BOYCE, 2003). Usualmente, ao amanhecer, temos espectros de luz visível⁴⁶ com comprimentos de onda avermelhados (590 – 620 nm). Quando o sol se aproxima do horário do meio-dia, esse espectro de luz visível alcança a luz azul (450 - 475 nm). Quando o dia se aproxima do seu fim, da mesma forma que ocorreu no amanhecer, temos a predominância dos comprimentos de onda avermelhados (590 – 620 nm) (HECHT, 2012).

Nos últimos dois séculos, quando a iluminação elétrica foi introduzida no nosso ambiente, a vida urbana mudou a relação dos seres humanos com a luz natural. Deixamos de passar mais horas em ambientes externos, que sempre ofereceram uma iluminação dinâmica em cor e intensidade, e passamos a viver em ambientes internos com luzes elétricas com cores e intensidade constantes (Figura 4). As noites deixaram de ser iluminadas exclusivamente pela lua e pelas estrelas para serem completamente iluminadas pela luz elétrica (HECHT, 2012).

⁴⁶ O espectro da luz visível está elucidado no capítulo 3 dessa dissertação.

Figura 4 - Comparativo entre espectros de luz natural e luz elétrica

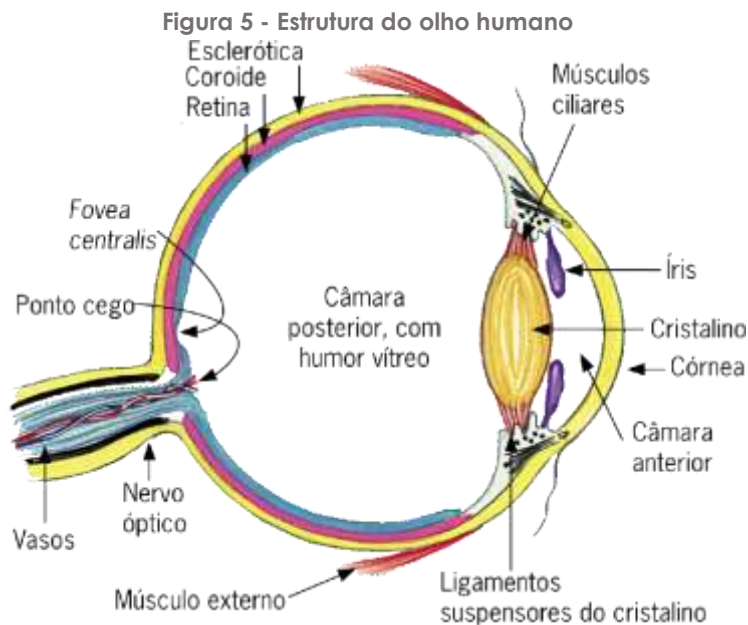


Em 1998, as pesquisas de Ignacio Provencio et al. (1998) e David Berson, Felice Dunn e Motoharu Takao, em 2002, revolucionaram a relação entre o homem e o meio iluminado. Os pesquisadores identificaram as *células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis*⁴⁷ (ipRGC) a partir do fotopigmento (melanopsina) que existe dentro da estrutura do globo ocular (retina) (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002), o que indica que fisiologicamente a luz tem uma influência para além das funções relacionadas somente à visão. Essa identificação confirma o que estudos desenvolvidos desde a década de 1960 demonstravam: a influência da luz está além da melhoria da acuidade visual e do bem-estar, impactando nos ciclos do corpo humano e na produção hormonal e, conseqüentemente, influenciando a saúde humana (BOYCE, 2010).

2.2 O sistema que percebe a luz no corpo humano: o olho

Existem fatores essenciais no funcionamento nos projetos de iluminação: uma fonte de energia luminosa, um órgão que recebe informações e outro que as interpreta de acordo com o meio em que se encontra. A estrutura do corpo humano com a capacidade de realizar essas tarefas é denominada *sistema visual humano* e é formada pela via entre o olho e o cérebro (STEFFY, 2008).

⁴⁷ Tradução livre da autora da expressão *Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells*.

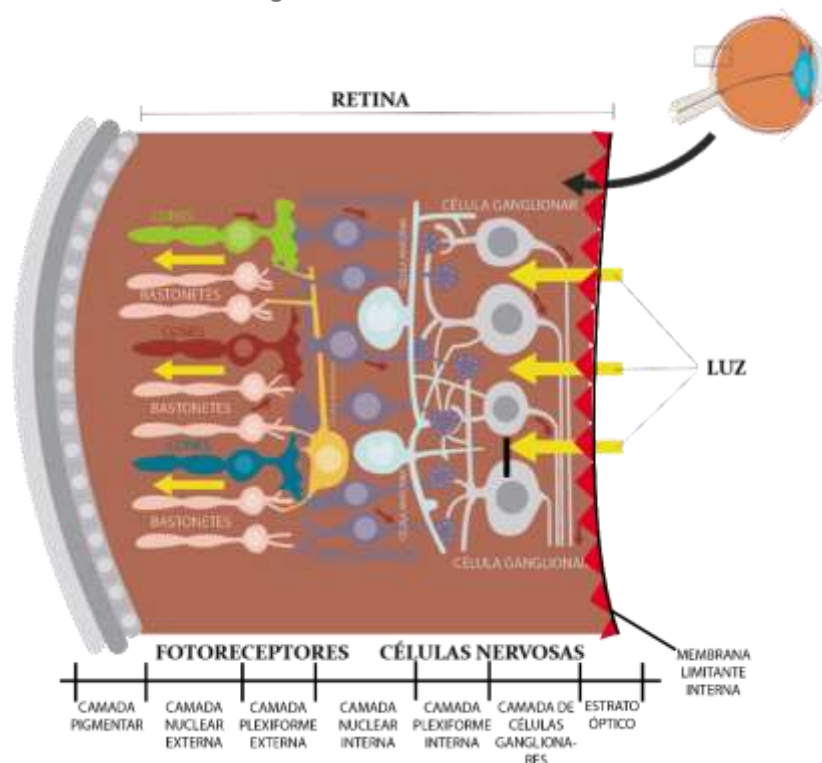


Fonte: GUYTON E HALL, 2011.

O olho humano é uma estrutura complexa, formado por um sistema fisiológico com inúmeros componentes (Figura 5). O funcionamento da visão dá-se, basicamente, através da captação da luz que atravessa a córnea e passa pela íris (que regula a quantidade de luz captada). A luz captada é orientada pelo cristalino (que funciona como uma lente) e chega à retina (onde a luz é transformada em impulsos nervosos) através do humor vítreo. A imagem é produzida de forma invertida pelo cristalino, sendo que os impulsos enviados pela retina, através dos nervos óticos ao cérebro, são interpretados e convertidos à posição correta no córtex visual⁴⁸ (Figura 6) (GUYTON; HALL, 2011).

⁴⁸ Córtex visual, também chamado de *sistema novo*, é a parte do cérebro localizada nos lóbulos occipitais (região proeminente da cabeça, logo acima da nuca), que é responsável pela percepção de praticamente todas as formas visuais, como cores, volumes e outras visões conscientes (GUYTON; HALL, 2011). Portanto, ele tem um funcionamento diferenciado do sistema circadiano, que será abordado ao longo desta dissertação.

Figura 6 – Camadas da retina



Fonte: adaptado de GUYTON e HALL, 2011.

A retina⁴⁹ é a camada do olho humano sensível à luz, onde estão presentes diversas estruturas celulares que participam desse processo (Figura 6). Ela funciona com a luz atravessando a camada interna do olho, passando por toda a estrutura celular e, finalmente, atingindo a camada pigmentar. Essa camada reage à luz e se decompõe, sendo que cada fotopigmento⁵⁰ se comporta diferentemente em relação a um comprimento de onda do espectro visível. Assim, a sensibilidade de cada fotorreceptor⁵¹ responde aos fotopigmentos de forma específica, transformando a radiação eletromagnética em sinais neurais que, enfim, evocam respostas visuais. São duas as células fotorreceptoras já conhecidas do corpo humano: os cones e os bastonetes.

⁴⁹ Para melhor contextualizar esta dissertação, é significativo o conhecimento básico da estrutura da retina. Isso é essencial para o entendimento de como são construídas as métricas utilizadas na indústria da iluminação, já que elas são baseadas na sensibilidade de fotorreceptores encontrados nessa estrutura do corpo humano (BOYCE, 2003; REA, 2013).

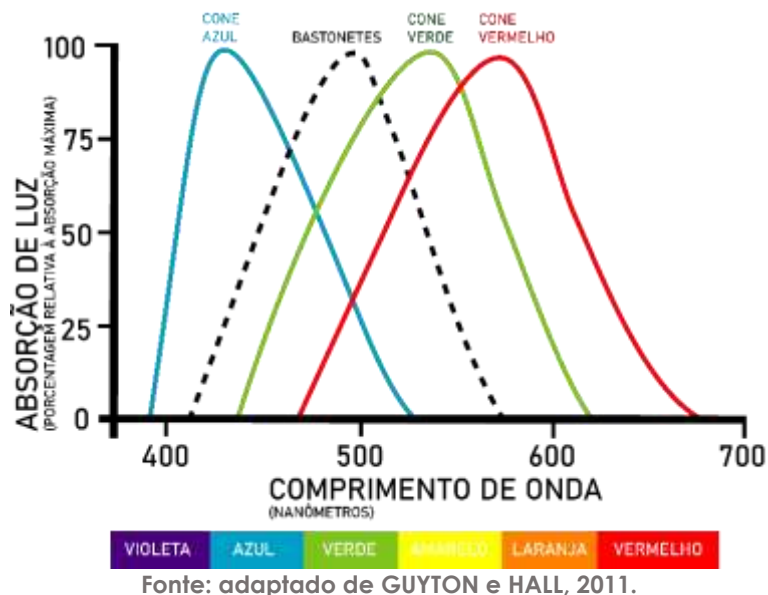
⁵⁰ Fotopigmentos são elementos químicos pigmentares instáveis que se decompõem quando atingidos por determinado comprimento de onda do espectro visível da luz (GUYTON; HALL, 2011).

⁵¹ Fotorreceptores são células da retina que são sensíveis à decomposição dos fotopigmentos, encaminhando sinais de seu sistema celular para o cérebro através do nervo ótico. Cada fotorreceptor tem sensibilidade específica a um fotopigmento singular.

Os cones são células fotorreceptoras localizadas na camada nuclear externa (Figura 6). Elas são relacionadas com a nossa visão diurna, chamada de *fotópica*, e com a sensibilidade ao fotopigmento denominado *fotopsina*. Além disso, essas células são as responsáveis pela percepção das cores (azul, verde e vermelho). São quatro tipos de cones: cones S (mais largos, em menor número, conectados de maneira distinta com neurônios na retina), cone S bipolar (ligados à célula amácrina), e cones L e M (menores, em maior número e interligados). Apesar de serem cones, suas sensibilidades à luz estão localizadas em diferentes comprimentos de onda do espectro visível (Figura 7). Os cones são mais sensíveis aos comprimentos de onda mais longos do espectro visível, possuindo uma *sensibilidade relativa total* de 555 nm (azul-verde) (GUYTON; HALL, 2011; LUCAS et al., 2014; REA et al., 2005).

Os bastonetes são células fotorreceptoras localizadas na camada nuclear externa. Elas são relacionadas com a visão noturna e a percepção de claro e escuro, com sensibilidade ao fotopigmento denominado *rodopsina*. Esses fotorreceptores são mais sensíveis aos comprimentos de onda mais curtos, com a *sensibilidade relativa máxima* de 508 nm (*escotópica verde*). Essa condição, em que a luz é limitada ou apresenta radiação eletromagnética muito baixa, é chamada de *condição escotópica* (GUYTON; HALL, 2011; LUCAS et al., 2014; REA et al., 2005).

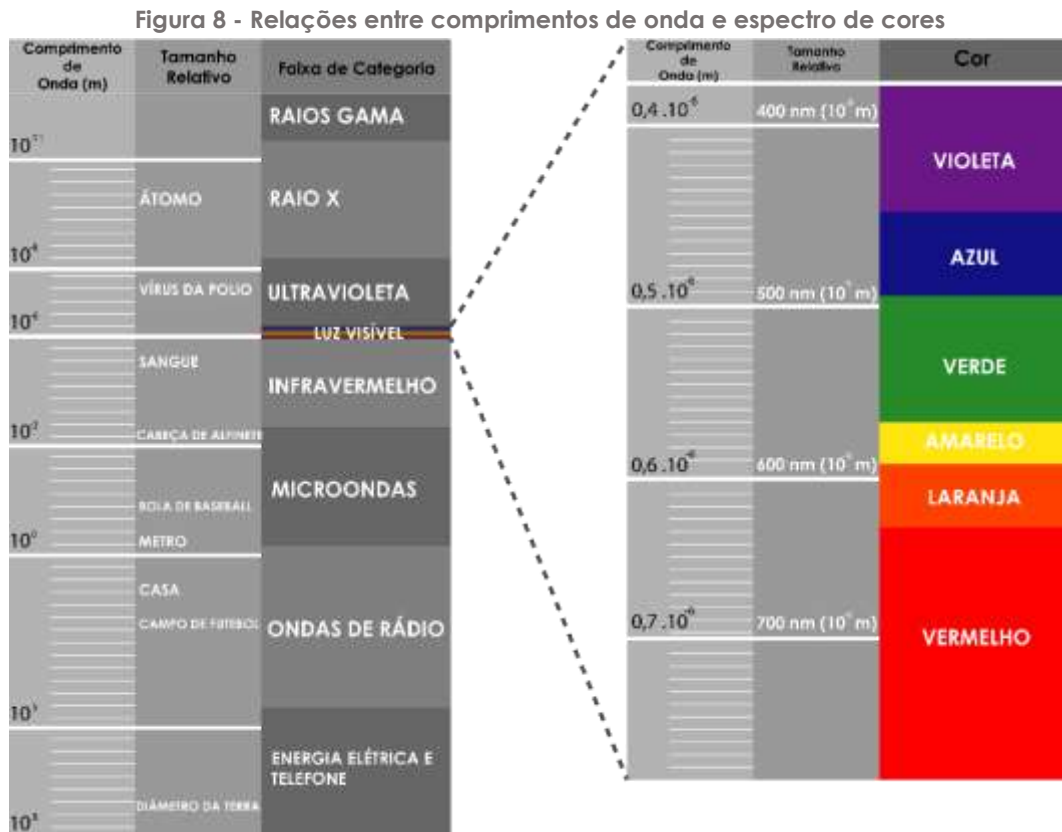
Figura 7 - Sensibilidades espectrais individuais dos fotorreceptores



2.3 A curva de sensibilidade visual à luz do olho humano

Luz, para o projeto de iluminação, é o espectro eletromagnético visível ao olho humano, que se estabelece em um comprimento de onda entre 380 nm a 780 nm.

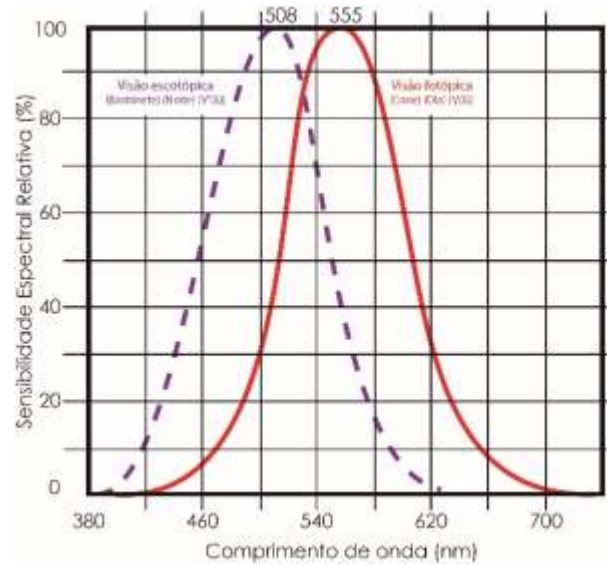
Essa radiação visível é ordenadamente classificada em um espectro de luz colorida contínua (Figura 8) – o arco-íris, que vai da tonalidade violeta (380 nm) à vermelha (780 nm) (BOYCE, 2003; REA, 2013; STEFFY, 2008).



Fonte: adaptado de STEFFY, 2008.

As sensibilidades distintas entre visão fotópica e escotópica são demonstradas através de um gráfico no qual são comparadas as sensibilidades relativas, em porcentagem, e a escala do comprimento de onda, em nanômetros (Figura 9). A função entre a eficiência luminosa e a escala de comprimento de onda é chamada de *função de eficiência fotópica luminosa* $[V(\lambda)]$, no caso da visão fotópica, e *função de eficiência escotópica luminosa* $[V'(\lambda)]$, no caso da visão escotópica (BOYCE, 2003; REA, 2013; STEFFY, 2008).

Figura 9 - Funções de eficiência fotópica e escotópica



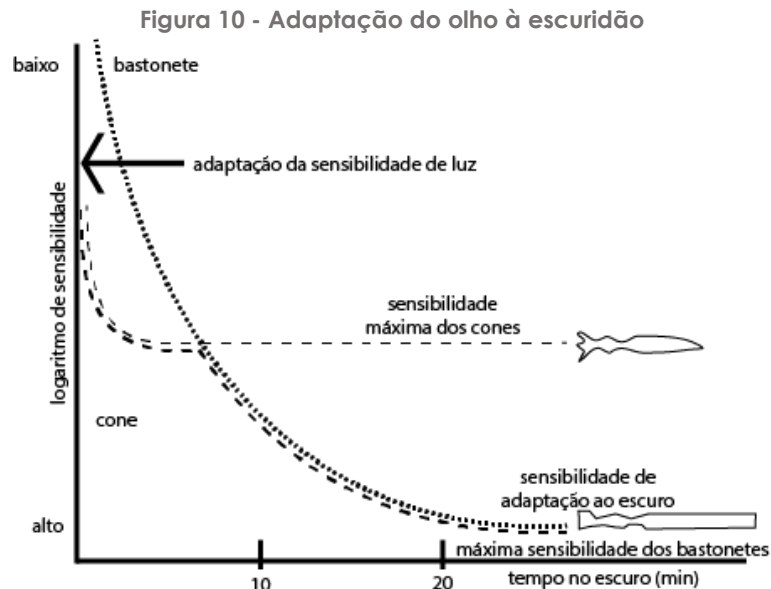
Fonte: adaptado de BOYCE, 2003.

A primeira sensibilidade a ser determinada, a *função de eficiência fotópica luminosa* $[V(\lambda)]$ desenvolvida por Gibson e Tyndell (1923), foi considerada como base para o desenvolvimento de unidades que convertem quantidades radiométricas em unidades que receberam o nome de *fotométricas*. A CIE definiu, em 1924, $V(\lambda)$ como base para quantificar a luz a partir de então, derivando as unidades de medida de luz que se utilizam na indústria da iluminação e nos projetos luminotécnicos (BOYCE, 2003; REA, 2013).

2.4 Adaptação e acomodação

A adaptação é um processo muito importante no controle de entrada de luz no olho humano e ocorre quando existe uma mudança brusca na intensidade da iluminação entre ambientes claros ou escuros (Figura 10). Quando o sujeito passa de um ambiente iluminado para um ambiente escuro ou o oposto, o olho tem que se adaptar à nova condição. Isso acontece através da contração ou dilatação da pupila, que ajusta automaticamente a intensidade luminosa sobre a retina. Os fotorreceptores, igualmente, necessitam se adequar. O sujeito que está em um ambiente extremamente claro está com as pupilas contraídas e com a sensibilidade dos cones ativos. Passando a um ambiente escuro, a pupila rapidamente se dilata e ativam-se os bastonetes. A adaptação demora cerca de trinta minutos e visa condicionar os bastonetes para receber estímulos luminosos de pequena intensidade. O sujeito que se encontra em um ambiente escuro está com as pupilas

dilatadas e com os bastonetes em pleno funcionamento. Deslocando-se para um ambiente claro, a pupila se contrai e os cones são ativados. O período de desconforto dura cerca de dez minutos, tempo usado para uma nova síntese de níveis adequados de pigmento visual (GUYTON; HALL, 2011; LIMA, 2010; STEFFY, 2008).



Fonte: adaptado de LIMA, 2010.

A acomodação é o processo visual de focar um objeto ou uma tarefa. O músculo ciliar contrai para ajustar o formato do cristalino, assim modifica a distância focal para permitir a formação de uma imagem sobre a retina (Figura 5). Essa capacidade de foco se altera com a idade, pois o cristalino vai perdendo a sua elasticidade e a sua capacidade de adaptação. Não somente a idade, mas também problemas decorrentes da acomodação são comuns em diversas idades, como a miopia⁵², a hipermetropia⁵³ e o astigmatismo⁵⁴ (GUYTON; HALL, 2011; LIMA, 2010; STEFFY, 2008).

Outra capacidade visual relacionada com a elasticidade do cristalino é a acuidade visual. A acuidade significa distinguir detalhes finos de objetos em função

⁵² A miopia ocorre quando o músculo ciliar está completamente relaxado e o cristalino não consegue focar a luz necessária na retina, dificultando a focalização. A visão é "boa para perto" e "ruim para longe".

⁵³ A hipermetropia se deve a um globo ocular "curto" ou um sistema de lente cristalino fraco demais. Nesse caso, as lentes não conseguem ajustar adequadamente o foco de luz na retina. A visão é considerada "boa para longe" e "ruim para perto".

⁵⁴ O astigmatismo é um erro refrativo do olho que faz que a imagem visual em um plano focalize em uma distância diferente da do plano em ângulo reto. Isso se deve à curvatura da córnea ser maior em alguma das laterais do olho.

da distância do observador, dependendo também do contraste entre o objeto e o entorno, do tamanho do objeto, da distância que ele está do observador, do período de visão e do ofuscamento (GUYTON; HALL, 2011; LIMA, 2010; STEFFY, 2008).

2.5 O sistema que regula o ciclo circadiano no corpo humano

O sistema circadiano endógeno do corpo humano se manifesta em relação ao meio ambiente, influenciado por diversos fatores externos. A alternância que ocorre no fotoperíodo, a fase dia e a fase noite, é nomeada pela Cronobiologia como *Zeitgeber*⁵⁵ (TOH, 2008). No cérebro humano, assim como no de outros seres vivos, existe um sistema que regula o relógio biológico, coordena o comportamento humano e orienta o estado de sono-vigília naturais do nosso corpo. Esse sistema, nomeado “sistema circadiano” (Figura 11), é formado por uma estrutura que interliga o globo ocular (retina) ao cérebro, liberando hormônios em ciclos, mantendo-nos vigilantes ou adormecidos (BOYCE, 2003; CZEISLER, 2013; GILLETE, 2007).

A regulação do ritmo do ciclo circadiano começa pela luz captada pelo olho através da *córnea*, passando pela *íris* e chegando até o *crystalino* – que orienta a luz até a retina⁵⁶. A luz ativa a decomposição do fotopigmento melanopsina⁵⁷, que é percebido pelas *células ganglionares*⁵⁸ da retina *intrinsecamente fotossensíveis* (ipRGC), encontradas por toda a camada da retina do olho humano e extremamente sensíveis à região azul do espectro visível⁵⁹. Elas encaminham sinais através do *trato retino-hipotalâmico* (TRH) para o *núcleo supraquiasmático*⁶⁰ (NSQ), que está localizado no *hipotálamo*⁶¹. O NSQ transmite essas informações para o

⁵⁵ Termo alemão derivado das palavras *Zeit* e *Geber*, que significam *tempo* e *doador*, respectivamente. Usualmente utilizado na Cronobiologia, esse termo refere-se aos fatores ambientais que indicam o tempo ao nosso corpo, sendo o principal deles a luz.

⁵⁶ O funcionamento do sistema circadiano tem o mesmo princípio de captação de luz que o sistema visual do olho humano. Entretanto, a informação obtida através de fotorreceptores diferenciados é que vai estimular a informação para um ou outro sistema.

⁵⁷ A melanopsina é uma proteína fotossensível (fotopigmento) produzida na retina, que tem a capacidade de processar a informação luminosa incidente e conduzi-la ao núcleo supraquiasmático (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002).

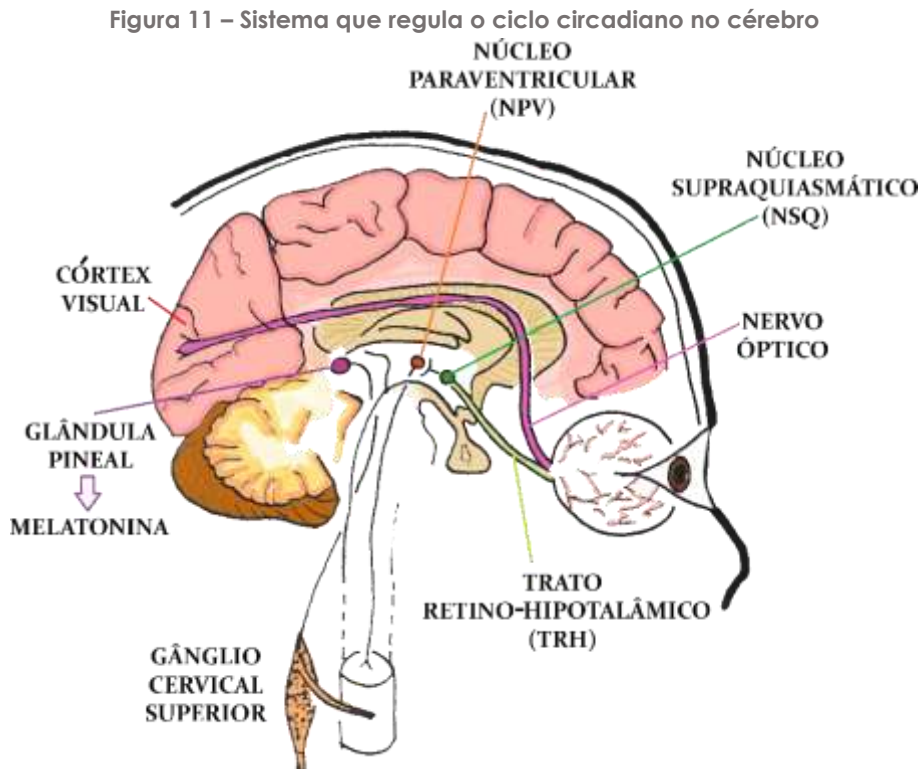
⁵⁸ Células ganglionares estão localizadas em uma camada próxima à membrana limitante interna e sua função é transmitir sinais da retina diretamente do nervo ótico para o cérebro (GUYTON; HALL, 2011).

⁵⁹ O espectro da luz visível está elucidado no capítulo 3 dessa dissertação.

⁶⁰ O núcleo supraquiasmático (NSQ) é reconhecido como o *oscilador endógeno* dos mamíferos, ou seja, o relógio biológico central dos seres humanos (BOYCE, 2003).

⁶¹ O hipotálamo é uma região do encéfalo dos mamíferos (localizado na área central do cérebro), que sintetiza a produção de neuro-hormônios que regulam diversas funções do corpo, como a temperatura corporal, a fome, a sede e os ciclos circadianos (GUYTON; HALL, 2011).

*núcleo paraventricular (NPV)*⁶², e depois elas seguem para a *glândula pineal*. A glândula pineal é a responsável por reger a produção da *melatonina*, um dos hormônios envolvidos na regulação do ciclo circadiano (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002; BOYCE, 2003; CZEISLER, 2013; GILLETE, 2007).



Fonte: adaptado de BOYCE, 2003.

A melatonina é um hormônio com diversas ações no organismo humano, sendo uma das mais conhecidas a de preparar o organismo para o sono, restabelecendo o equilíbrio orgânico e reduzindo a temperatura corporal à noite. Entretanto, diferente do que já foi expresso em décadas anteriores, a melatonina não é o “hormônio do sono”, mas sim o “hormônio da escuridão”, estando relacionado ao tempo e à magnitude dos eventos associados com a fase escura, ou seja, possui propriedades cronobióticas (ARENDE; SKENE, 2005). Entre as suas diversas funções, ele atua como propulsor do sistema imunológico por ser um imunomodulador⁶³, um antioxidante e um anti-inflamatório. O hormônio contribui para manter vários

⁶² O núcleo paraventricular (NPV) regula a produção do hormônio ocitocina (GUYTON; HALL, 2011).

⁶³ Regula as reações imunológicas do corpo humano (MICHAELIS, 2020).

processos de funcionamento do corpo humano (homeostasia), como o sistema reprodutivo e o sistema cardiovascular (MACCHI; BRUCE, 2004). Ainda, estudos relacionam a melatonina à redução do crescimento do câncer de mama (HILL et al., 2015) e ao alívio do transtorno afetivo sazonal⁶⁴ e de outros problemas relacionados com o humor (DE CRESCENZO et al., 2017). A produção da melatonina é suprimida com maior intensidade pela luz branca⁶⁵ e liberada quando há a ausência de luz, sendo considerada um marcador de ritmo da estrutura temporal circadiana⁶⁶ (ARENDDT; SKENE, 2005; LEWY et al., 1980; MACCHI; BRUCE, 2004; TOUITOU; SELMAOUI, 2012).

Durante o dia, quando a luz branca é predominante, há a produção de outros hormônios que nos mantêm alertas e produtivos, como a dopamina⁶⁷, a serotonina⁶⁸ e o cortisol, que é o principal deles (ALÓE; AZEVEDO; HASAN, 2005). O cortisol é considerado um hormônio tão importante na regulação do sistema circadiano do corpo humano quanto a melatonina, aumentando a pressão sanguínea e os níveis de açúcar no sangue, que dão energia e preparam o corpo para as atividades diurnas. Entretanto, quando o corpo tem uma exposição prolongada ao cortisol, mantendo a pressão sanguínea e os níveis de açúcar no sangue altos, o sistema do corpo humano se torna exausto e ineficiente, podendo desenvolver uma série de problemas de saúde (SELMAOUI; TOUITOU, 2003; VAN BOMMEL, 2006).

⁶⁴ Em inglês, *Seasonal Affective Disorder (SAD)* (KURLANSIK; IBAY, 2012). Em português, Transtorno Afetivo Sazonal (TAS) (JURUENA; CLEARE, 2007). Esse transtorno se desenvolve em épocas do ano nas quais aumenta ou diminui a exposição ao sol, devido às mudanças de estação e à duração da iluminação diurna. Entre os sintomas desse transtorno, encontram-se o aumento do apetite por carboidratos, o aumento de peso por excesso de alimentação, a maior necessidade de sono e a fadiga extrema (JURUENA; CLEARE, 2007; KURLANSIK; IBAY, 2012). Acredita-se que vários mecanismos biológicos podem causar TAS, porém ainda não existe a real comprovação do que inicia o transtorno. Uma possibilidade é a alta sensibilidade à luz nos fotorreceptores oculares, influenciando, conseqüentemente, a regulação dos ciclos circadianos e dando início ao distúrbio (KURLANSIK; IBAY, 2012).

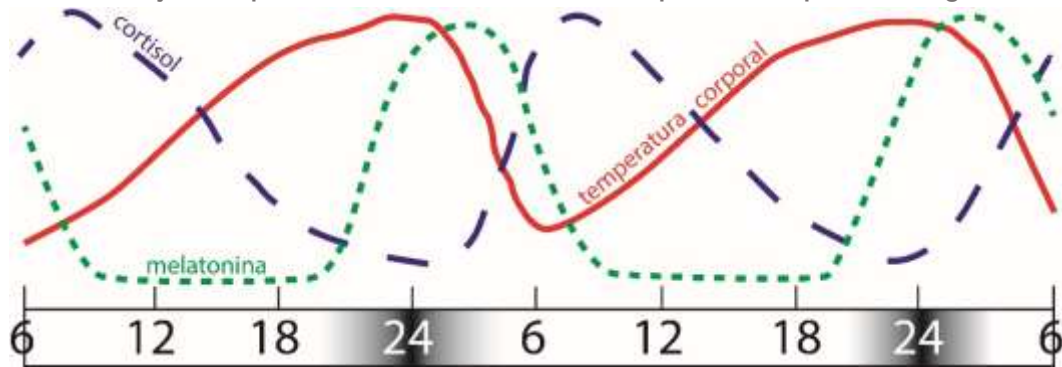
⁶⁵ A luz branca é altamente rica em ondas eletromagnéticas visíveis curtas, localizadas na região do espectro azul / azul-verde (LOCKLEY; BRAINARD; CZEISLER, 2003).

⁶⁶ O marcador de ritmo circadiano é uma variável rítma fisiológica, cujos padrões são altamente reproduzíveis em um indivíduo ou em um grupo, caracterizando a estrutura temporal do ritmo endógeno (SELMAOUI; TOUITOU, 2003).

⁶⁷ Dopamina é um neurotransmissor associado com a sensação de prazer e recompensa. Ela está associada também ao aprendizado, às emoções, ao humor, à memória e à cognição.

⁶⁸ Serotonina é um neurotransmissor que age como inibidor da dor na medula espinhal e tem uma ação inibitória nas regiões do sistema nervoso auxiliando no controle do sono e do humor do indivíduo.

Figura 12 - Variação temporal de cortisol, melatonina e temperatura corporal ao longo de 24 horas



Fonte: adaptado de VAN BOMMEL, 2006.

O cortisol e a melatonina têm ciclos opostos e picos máximos inversos em relação à presença ou não de luz, contudo esses ciclos não estão diretamente relacionados, podendo atuar no corpo de forma independente (Figura 12). Os níveis de melatonina aumentam a partir do entardecer (quando o ambiente começa a escurecer), alcançando o seu pico máximo no sono profundo; e diminuem ao longo da manhã a partir do despertar do indivíduo, até atingir seu nível mínimo durante o período diurno. Os níveis de cortisol vão aumentando no início da manhã a partir do despertar do indivíduo, atingindo seu nível máximo durante a manhã; e diminuem ao seu nível mais baixo ao longo da tarde até próximo do período de sono. Ambos desempenham um papel importante no ciclo de sono-vigília e no controle da temperatura corporal (SACK et al., 2007).

Com essas variações fisiológicas endógenas, os ritmos circadianos têm um período de quase 24 horas. A média do período circadiano humano é de um intervalo de cerca de 24 horas, com 15 a 30 minutos para mais ou para menos, dependendo da predisposição genética do indivíduo, de suas características físicas e de sua idade (CZEISLER, 1999).

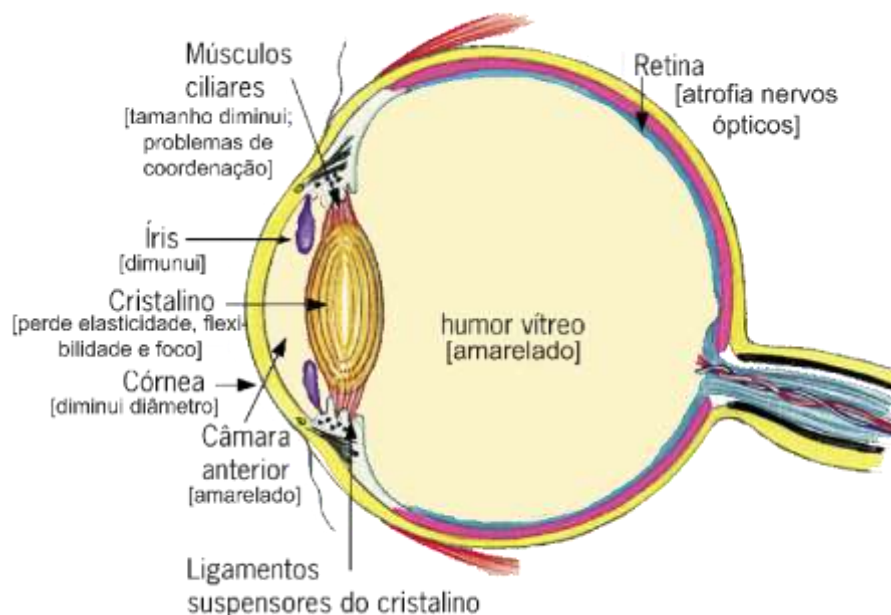
2.6 O envelhecimento humano e sua relação com os fatores associados à iluminação

O envelhecimento produz perdas sensoriais, diminuição dos níveis de energia e prejuízo da coordenação motora dos reflexos rápidos, comprometendo a capacidade do idoso de interagir com o meio ambiente no qual vive. Além disso, existe um declínio da acuidade visual com mudanças naturais e doenças visuais relacionadas ao envelhecimento (ESQUENAZI; DA SILVA; GUIMARÃES, 2014). Por essa

razão, algumas das métricas desenvolvidas para medir o impacto da luz no sistema não visual humano consideram a média de idade do usuário para o cálculo de suas unidades e estratégias de projeto.

Quando o ser humano envelhece, o sistema visual humano já não processa as imagens com a qualidade e a sensibilidade adequadas. Enquanto as pupilas se tornam menores e quase fixas, os músculos ciliares, que se ligam à córnea, ficam distendidos e têm mais dificuldade de ajustar o cristalino para o foco de imagens. O cristalino perde transparência, e o humor aquoso (a substância líquida da câmara anterior) acaba por ficar com a cor âmbar-amarelada. Além disso, o humor vítreo (a substância gelatinosa da câmara posterior) também acaba por ficar amarelado (Figura 13). O efeito combinado dessas duas estruturas acaba por reduzir a luz que chega à retina, diminuindo a adaptação dos olhos e causando grande sensibilidade ao ofuscamento. Por essas razões, em uma idade mais avançada, necessita-se de uma maior quantidade de luz, compensando a insuficiência do sistema. Os olhos idosos se adaptam mais devagar às mudanças da luz e de intensidade de brilho, especialmente quando o idoso se desloca da luz mais brilhante para a luz menos intensa. Ofuscamento e baixos níveis de luz se tornam incrivelmente problemáticos em pessoas a partir de 50 anos, que acabam por ter dificuldades em perceber padrões e por necessitar de mais contraste para conseguir enxergar melhor. Depois dos 70 anos, detalhes finos são mais difíceis de serem visualizados e a cor e a profundidade podem ser afetadas (BOYCE, 2003; ESQUENAZI; DA SILVA; GUIMARÃES, 2014; IES, 2007).

Figura 13 - Estrutura do olho humano envelhecido



Fonte: edição em GUYTON e HALL, 2011.

Entre algumas soluções utilizadas para minimizar os efeitos causados pela visão envelhecida, está a busca por uma luz apropriada, tanto em termos de qualidade como de quantidade e de valores de contraste que evidenciem objetos entre superfícies. Esse tipo de intervenção ambiental ajuda a minimizar os efeitos causados pelo envelhecimento natural da visão (IES, 2007).

Não são somente os olhos que envelhecem, o sistema circadiano dos seres humanos também experimenta alterações com o passar dos anos. Por isso, os idosos apresentam um menor tempo de sono total, menor eficiência e maior latência do sono⁶⁹, despertares noturnos mais frequentes e sonolência diurna excessiva com cochilos diurnos aumentados. A razão correta pela qual esses sintomas começam a surgir está sendo investigada. Algumas pesquisas demonstraram que isso se deve à “antecipação” de fase dos ciclos circadianos, comparando um grupo de adultos jovens (20-30 anos) com um de adultos idosos (>60 anos). O início da variação de temperatura corporal dos adultos idosos demonstrou iniciar mais cedo do que o grupo de adultos jovens. A fase da melatonina e a do cortisol, igualmente, apresentam-se antecipadas no grupo mais longevo; isso é causado pelo

⁶⁹ A latência do sono é um termo relacionado à fisiologia do sono. A latência é o período de tempo necessário para realizar a transição do estado de vigília para o estado de sono total (GUYTON; HALL, 2011).

envelhecimento do sistema visual (amarelamento do cristalino e do humor vítreo). Tal fato altera o espectro de luz que chega aos fotorreceptores (diminuindo a entrada do espectro de luz azul por causa da lente amarelada). Outro fator de alteração do sistema circadiano humano é o envelhecimento do NSQ, que tem a sua capacidade de receber sinais diminuída com o tempo devido à diminuição de suas células transmissoras (DUFFY; ZITTING; CHINOY, 2015; MATTIS; SEHGAL, 2016).

2.7 Impactos da iluminação inadequada nos seres humanos

O planejamento inadequado da iluminação pode acarretar aumento do risco de desenvolvimento de diversas doenças, influenciando diretamente a saúde do indivíduo que ocupa o ambiente iluminado. Atualmente se sabe que existem respostas diferentes entre o sistema visual e o sistema circadiano à quantidade de luz, à sua composição espectral, à distribuição espacial, ao tempo e à duração da exposição à luz. Na última década, pesquisas relacionadas à iluminação tiveram o grande desafio de avaliar e identificar quais seriam as consequências dessa iluminação de baixa qualidade, caracterizando-a como um problema de saúde pública mundial (CZEISLER, 2013; PAULEY, 2004; ZIELINSKA-DABKOWSKA, 2018).

A primeira consequência do mau planejamento da iluminação elétrica, do pouco aproveitamento da luz natural e da exposição excessiva a altas iluminâncias durante a noite está no impacto causado nos ciclos de sono-vigília dos seres humanos. A exposição noturna prolongada à iluminação elétrica e a equipamentos eletrônicos, com altos teores de luz na região do espectro eletromagnético azul após o período do entardecer, pode causar uma desregulação do sistema circadiano e de outros fatores fisiológicos. Quando estamos expostos à iluminação elétrica entre os períodos do anoitecer e do crepúsculo, inibe-se o início da produção da melatonina, podendo ocorrer o atraso dos ritmos endógenos. Outra consequência está na ocorrência de um período estendido da produção de cortisol, que, apesar de ser fundamental para o funcionamento do nosso corpo, pode desenvolver uma série de problemas de saúde quando em excesso, como o aumento do risco de desenvolvimento de obesidade, de diabetes, de colesterol alto, de hipertensão, de estresse e de depressão (CZEISLER, 2013; GUYTON; HALL, 2011; TOUITOU; SELMAOUI, 2012; VAN BOMMEL, 2006).

Em estudo realizado no Brasil, Martau (2009) encontrou diferenças significativas na saúde entre mulheres que trabalhavam em lojas de shopping center com

iluminação exclusiva de fontes elétricas e mulheres que trabalhavam em lojas de rua com a presença de iluminação natural. Foi realizada uma série de avaliações com as participantes, como avaliações hormonais (melatonina e cortisol), questionários psicométricos, questionários para avaliação da qualidade do sono, análise do ritmo atividade/repouso, e iluminância ao longo de 24 horas. Pôde-se identificar que, no grupo de funcionárias de lojas de shopping centers, principalmente o grupo cujo turno iniciava à tarde e trabalhava até a noite, houve uma correlação inversa entre a iluminância geral média da loja e a satisfação geral com as condições da iluminação no ambiente de trabalho. As funcionárias acabaram, inclusive, apresentando piores aspectos emocionais e alterações significativas nos níveis de melatonina (trabalhadoras tarde e noite)⁷⁰ e um ritmo alterado na produção do cortisol (trabalhadoras manhã e tarde)⁷¹. Já as funcionárias de lojas de rua, apesar de o nível de satisfação não ter sido elevado, têm índices⁷² que indicam que a presença da luz natural contribui para sua saúde e bem-estar. O estudo evidencia a necessidade de se projetar iluminação não somente baseada nos aspectos visuais, estéticos ou energéticos, como também nos relacionados aos aspectos biológicos e psicológicos. Além disso, a pesquisa indica que esses aspectos não visuais devem ser considerados como parte da avaliação da qualidade da iluminação, sendo um novo paradigma para projeto luminotécnicos contemporâneos.

A importância do aproveitamento da iluminação natural nos ambientes também está evidenciada em estudo de Harb, Hidalgo e Martau (2015). Os autores tiveram como objetivo avaliar os efeitos da exposição ou da falta de exposição à iluminação natural nos ritmos de atividade/repouso através das dosagens de melatonina e cortisol, como também analisar as variáveis psicológicas sob condições de trabalho com e sem janelas. Desenvolvido no Hospital de Clínicas de Porto Alegre⁷³, o estudo comparou dois grupos de mulheres funcionárias de diversos setores

⁷⁰ Aqui cabe ressaltar que a autora informa que os níveis de melatonina nas funcionárias de shopping center que trabalhavam no turno da tarde e da noite eram maiores ao meio-dia, diminuindo ao longo da tarde e não atingindo um nível suficiente para a ativação do sono à meia-noite (MARTAU, 2009, p. 306).

⁷¹ O resultado apresentado do ritmo do cortisol das funcionárias de shopping center no turno tarde era mais marcado do que o apresentado pelas funcionárias do turno manhã e tarde. A autora argumenta que isso se deve, principalmente, à exposição à luz natural das funcionárias da tarde e noite durante a manhã, no turno em que não trabalham (MARTAU, 2009, p. 312).

⁷² A autora informa que as funcionárias de loja de rua apresentaram uma condição perto da ideal em termos de ritmo, exibindo maior nível de melatonina à meia-noite do que os demais grupos estudados (MARTAU, 2009, p. 306).

⁷³ O estudo foi realizado ao longo de um ano utilizando-se um acessório, similar a um relógio de pulso que mede e registra a iluminância do ambiente, nomeado *Actiwatch*.

do hospital: um deles trabalhava em ambiente com a presença de iluminação natural, enquanto o outro trabalhava em ambientes sem janela, somente com presença de iluminação elétrica durante o período diurno (8h-18h). No desdobramento do estudo, as funcionárias foram submetidas à análise das dosagens hormonais (melatonina e cortisol), questionários psicométricos, questionários para avaliação da qualidade do sono e para análise do ritmo atividade/repouso, além disso, foi analisada a iluminância do ambiente ao longo de 24 horas. O grupo que trabalhava com exposição à luz natural obteve maiores concentrações de cortisol diurno que o grupo sem exposição à iluminação no início da manhã. Contudo, quando comparamos os índices de cortisol à noite, os valores do primeiro grupo são menores do que os do segundo. Em relação à melatonina, os valores do primeiro grupo durante a manhã eram menores do que os apresentados pelo segundo grupo, e o oposto ocorreu no turno da noite. Essas diferenças hormonais estão diretamente relacionadas aos resultados da avaliação psicométrica, em que os valores altos de melatonina durante a manhã e altos de cortisol à noite no grupo que trabalha em ambiente sem janelas foram associados a maiores tendências de o indivíduo apresentar sintomas de distúrbios psiquiátricos e de depressão. Assim, o estudo demonstra que não somente a poluição luminosa afeta a fisiologia humana, como também a insuficiência de exposição à iluminação natural e a exposição uniforme e exclusiva à iluminação elétrica – aspectos intimamente vinculados à estimulação dos ritmos circadianos. Esses fatores relacionam-se aos altos níveis de cortisol diurno e aos baixos níveis de melatonina noturno apresentados pelo grupo que não tinha acesso à luz natural se comparados ao grupo que tinha integral acesso à luz natural. O grupo sem janela também apresentou maior percentual de sujeitos com sintomas depressivos e má qualidade do sono.

Estudos mais recentes demonstram a extrema sensibilidade humana na exposição à luz em períodos noturnos e a maneira como essa relação recente com as fontes de luz elétrica está mudando nossa sensibilidade a ela. Phillips et al. (2019) demonstraram que existe uma diferença significativa de sensibilidade à iluminação elétrica durante a noite entre indivíduos no que diz respeito à produção e à supressão de melatonina com subsequente impacto na saúde humana. O estudo foi realizado em uma amostra de 55 participantes com idades entre 18 e 30 anos, que foram expostos a iluminâncias baixas (< 1 lux) e a uma extensão de iluminâncias (10 - 2000 lux) por cerca de cinco horas durante a noite. Foi estimado em quantos minutos

ocorreria a supressão de 50% da melatonina para cada nível de iluminância em todo o grupo e individualmente em cada participante. No grupo, a supressão de melatonina ocorreu em 50% dos indivíduos quando a iluminância foi inferior que 30 lux, que é uma iluminância comparável ou menor do que os valores apresentados na iluminação elétrica noturna e do que a luz produzida por aparelhos eletrônicos. Individualmente, a supressão de 50% da melatonina ocorreu com níveis de iluminância extremamente amplos (6 lux para o indivíduo mais sensível e 350 lux para o menos sensível), demonstrando que o estímulo registrado pelo sistema circadiano pode variar significativamente entre os indivíduos. Portanto, esse estudo concluiu que algumas pessoas respondem à iluminação elétrica noturna com o mesmo nível de iluminância como se tivessem sido expostas à luz natural diurna, enquanto outras respondem como se estivessem submetidas a níveis de luz extremamente baixos. Isso significa que, em uma visão naturalista, os seres humanos estão se adaptando aos poucos a essas novas fontes de luz e que isso deve ser levado em consideração quando é estudada a relação dos impactos da iluminação na saúde humana.

O problema da desregulação do sistema circadiano e do estado de sono-vigília tem consequências não somente em alterações relacionadas ao humor⁷⁴. Diversas doenças podem ser desenvolvidas associadas a outros fatores, como a predisposição genética do indivíduo e a exposição excessiva à luz no período noturno, que altera as fases dos ritmos circadianos, e conseqüentemente o padrão de sono⁷⁵. O maior impacto é em trabalhadores que atuam em turnos noturnos alternados, pois esse é um caso extremo da relação do ser humano com o ciclo natural da luz.

Ainda que, nos últimos anos, tenha ocorrido um progresso no entendimento da importância do ciclo claro-escuro, do sono-vigília, da variação hormonal decorrente desses processos, do conhecimento sobre as diferenças entre o sistema visual e o sistema circadiano, ainda há muito a se descobrir sobre as consequências da iluminação inadequada dos ambientes nos seres humanos. A Organização Mundial

⁷⁴ O humor é definido como "uma emoção abrangente, difusa e prolongada, subjetivamente experimentada e relatada pelo paciente e que influi na percepção que a pessoa tem do mundo. Depressão, euforia e raiva são consideradas transtornos de humor. O humor pode ser instável, significando que flutua ou alterna rapidamente entre extremos" (KAPLAN; SADOCK; GREBB, 1997, apud MARTAU, 2009, p.146).

⁷⁵ Os autores se referenciam a esse fenômeno como o *jet lag social*. Esse termo faz alusão ao desalinhamento do ciclo circadiano com o horário social causado pela alta exposição à luz no período noturno, causando alterações no ciclo de sono-vigília e consequências sociais e de saúde.

da Saúde ⁷⁶, por exemplo, classifica o trabalho em período noturno como potencialmente cancerígeno, uma vez que uma série de estudos em animais e humanos demonstrou esse risco aumentado devido à disrupção circadiana (CHEN et al., 2019).

A associação entre evidências epidemiológicas, turno de trabalho e saúde foi revisado em Moreno et al. (2019). Esse trabalho avaliou as metodologias utilizadas e suas limitações em outros estudos que realizavam a associação entre turnos de trabalho e a propensão ao desenvolvimento de doenças. Concluiu-se que, apesar de algumas inconsistências de resultados entre as pesquisas derivadas das diferentes metodologias aplicadas nos estudos, existem evidências que ligam o trabalho em turnos às consequências negativas à saúde. Além disso, ele enfatiza que o modo de viver e o comportamento do indivíduo, que envolvem fatores como alimentação e atividades físicas, podem contribuir para o desenvolvimento e para a prevenção de doenças relacionadas ao trabalho em turno.

Portanto, embora o assunto esteja em constante discussão, há a necessidade de que pesquisadores e profissionais de iluminação evidenciem à população a necessidade de implementação de um projeto de iluminação saudável. Esse assunto acaba por se tornar uma importante questão ética que não pode ser ignorada, já que se tem conhecimento de que um projeto de iluminação inadequado pode causar consequências negativas à saúde.

⁷⁶ Em português, a sigla é OMS. A sigla internacional em inglês é WHO, de *World Health Organization*.



LAMPADAS BULBO LED. / FOTO: UNSPLASH

3. PROJETOS DE ILUMINAÇÃO CONVENCIONAIS

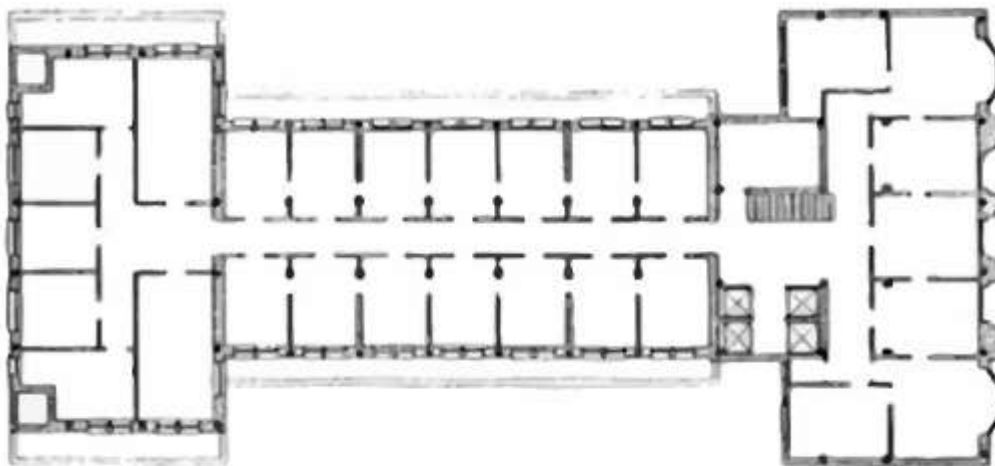
Os projetos de iluminação convencionais, em sua maioria, são planejados com o objetivo de se manter uma quantidade fixa de iluminância em uma superfície com uma distribuição intencionalmente uniforme e estática, principalmente em ambientes de trabalho. Além disso, normas e regulamentações como a *ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior* (ABNT, 2013a) reforçam essa forma de projetar, indicando as iluminâncias mínimas na superfície de trabalho, o índice de reprodução de cor (IRC), o ofuscamento (UGR) e, em alguns poucos casos, a temperatura de cor (TCC).

Este capítulo explora a evolução da organização dos espaços de trabalho e sua relação com a forma como estão iluminados, bem como o processo de projeto de iluminação, aqui denominado convencional, suas métricas, legislações e ferramentas de projeto.

3.1 A evolução da configuração dos ambientes de trabalho e de sua iluminação

O uso das edificações para abrigar escritórios teve a sua evolução intrinsecamente ligada às mudanças tecnológicas e às exigências quanto à qualidade do espaço (NEUFERT, 2013). No século XIX, a principal fonte de iluminação para a realização de tarefas de trabalho era a natural, o que influenciava a configuração arquitetônica desses espaços (Figura 14). O ambiente corporativo era formado por plantas baixas não muito profundas, com salas individuais, separadas por um corredor central (FIALHO, 2007; GATTER, 1982).

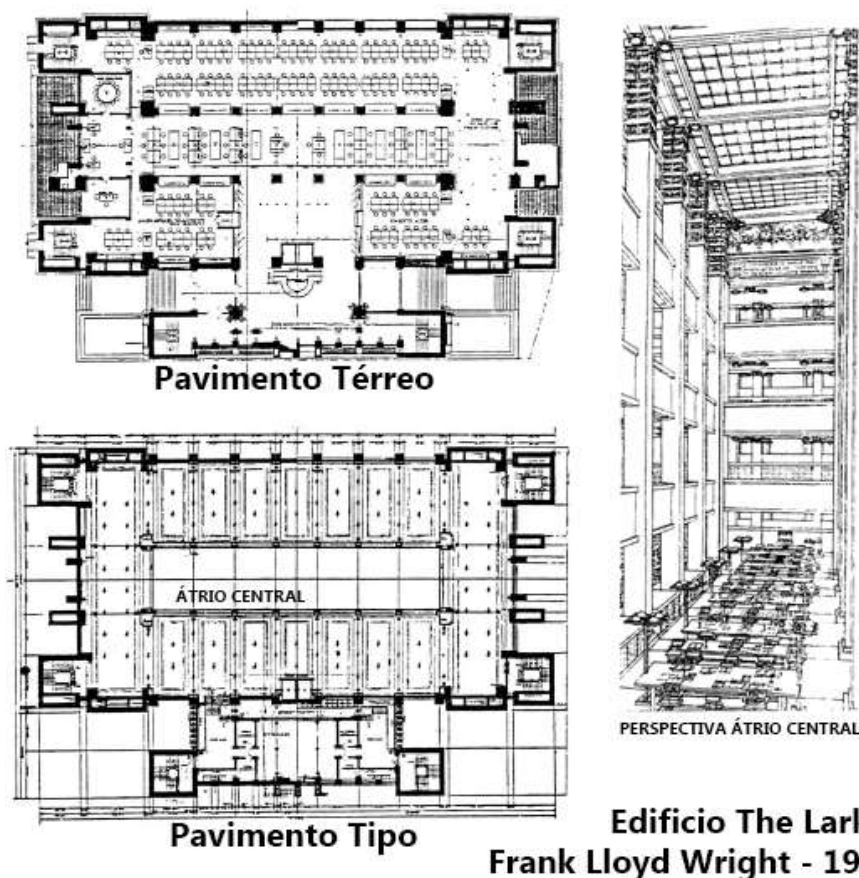
Figura 14 – Planta baixa do Garrick Building (Adler e Sullivan, 1892), um exemplo de da configuração interna dos escritórios em "celas" do século XIX



Fonte: adaptado de NEUFERT, 2013.

O início do século XX foi marcado pela transição de espaços de trabalho reduzidos e compartimentados para espaços em planta livre e quase sem subdivisões (Figura 15). Nos ambientes de trabalho, as áreas de tarefa passaram a ter uma organização espacial racionalizada, com mobiliários padronizados, compartimentação espacial retilínea e configuração rígida. Entretanto, nesse período, apesar da inserção da iluminação elétrica nas edificações através das lâmpadas incandescentes, a luz natural continuava a ser a principal iluminação dentro dos espaços, devido ao alto custo de energia elétrica e à grande emissão de calor pelas fontes de luz (FIALHO, 2007; GATTER, 1982).

Figura 15 – Plantas baixas e perspectiva do Edifício The Larkin (Frank Lloyd Wright), um exemplo de configuração de um escritório do início do século XX

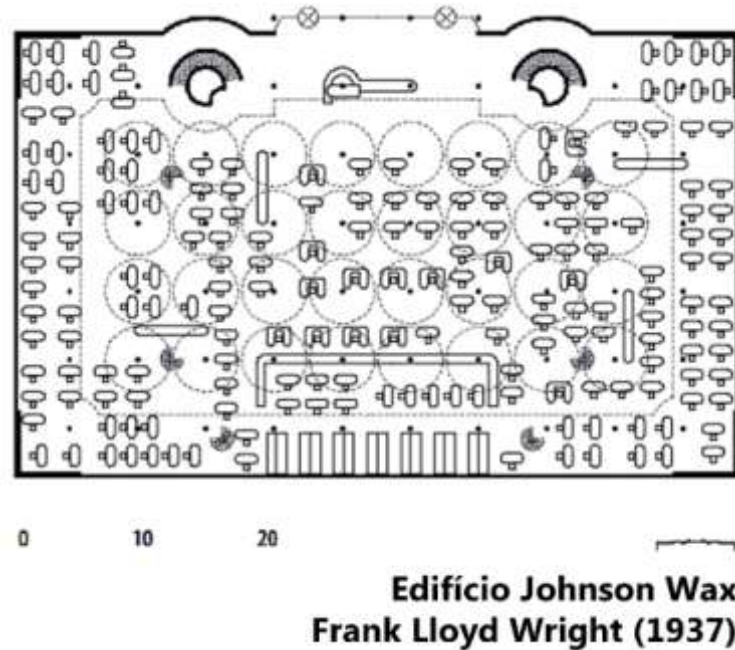


Fonte: adaptado de GATTER, 1982.

Com a popularização das lâmpadas fluorescentes, principalmente ao final da Segunda Guerra Mundial, as plantas baixas dos escritórios passaram a ser mais profundas. Essa configuração foi denominada “*The American Office*” (Figura 16), na qual o ambiente se desenvolvia em um espaço amplo, livre de colunas e obstruções, influenciado pelas ideologias tayloristas⁷⁷. Isso permitiu uma maior concentração de funcionários nas áreas mais centrais das plantas baixas, enquanto os empregados de cargos mais altos possuíam seus postos de trabalho compartimentados e individuais nas periferias, próximos às fenestrações, de onde supervisionavam seus subordinados (GATTER, 1982; RASSIA, 2017).

⁷⁷ *The principles of scientific management* (Os princípios da administração científica, 1911) é um conjunto de teorias desenvolvidas por Frederick Taylor, um engenheiro mecânico norte-americano. Suas teorias levaram à sistematização do trabalho, cujas fases deveriam ser acompanhadas por um gerente de forma a serem executadas de acordo com uma sequência e tempo pré-programados. Para uma maior produtividade e qualidade, Taylor defendeu treinamentos prévios de funcionários. Ele, ainda, incluiu um sistema de pagamento por quantidade produzida ou vendida, na qual os rendimentos dos funcionários eram pagos de acordo com seu esforço.

Figura 16 – Planta baixa do Edifício Johnson Wax (Frank Lloyd Wright), um exemplo de configuração de um escritório “The American Office”



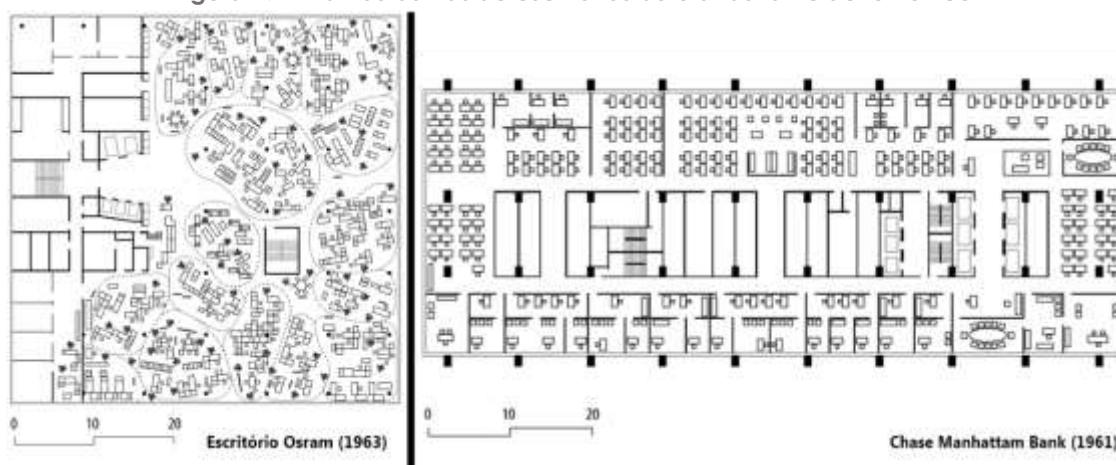
Fonte: adaptado de ANTON, 2015.

Segundo Gatter (1982), a partir do momento da utilização das fontes fluorescentes, a iluminância recomendada foi aumentando gradativamente. Se na década de 1920, a iluminância determinada pela IES era aproximadamente 110 lux, em 1950 chegou próxima de 320 lux. Contudo, no final da década de 1960, as recomendações de iluminância do IES para o ambiente atingiram aproximadamente 1.070 lux para ambientes de trabalho e 2.150 lux para atividades de desenho, os quais eram considerados apropriados apenas para salas de cirurgias na década de 1920.

Os anos de 1960 trouxeram outras transformações na configuração espacial aos escritórios, principalmente devido às novas demandas tecnológicas dos equipamentos de trabalho, como o telefone e a máquina de escrever. Dois modelos de organização espacial destacaram-se: o *Burölandschaft* e o *Action Office* (Figura 17). O primeiro, de origem alemã, promovia uma melhor relação humana e uma interação igualitária e não hierárquica no trabalho. Em uma configuração concêntrica, o posicionamento do mobiliário permitia que os funcionários pudessem estar dispostos paralelamente ou perpendicularmente a outro membro de sua equipe e que os diversos grupos estivessem alinhados em diferentes sentidos, além de propiciar a inserção de espaços coletivos de descanso, como copas e cozinha. O segundo, de origem norte-americana, lançou um sistema integrado composto por

divisórias baixas e móveis modulares, promovendo um espaço dinâmico e flexível que priorizava o convívio e o trabalho em grupo, facilitando o acesso às ferramentas para desenvolver as atividades relacionadas às suas funções. Esses ambientes apresentavam uma iluminação uniforme e constante, com altas iluminâncias de aproximadamente 1100 lux, levando ao direcionamento da luz de forma indireta para o teto, o que resultava em uma enorme superfície difusa de luz. (CALDEIRA, 2005; FIALHO, 2007; GATTER, 1982).

Figura 17 – Plantas baixas de escritórios *bürolandshaft* e *action office*



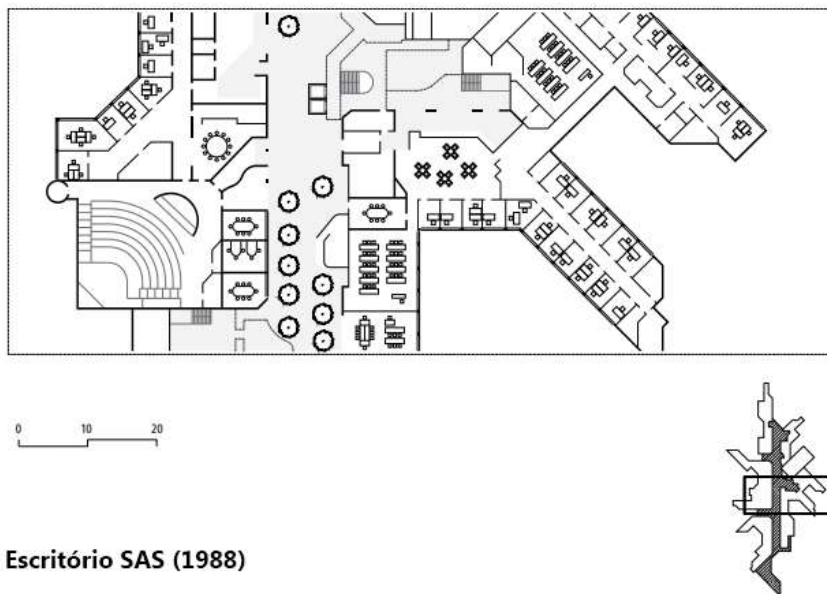
Fonte: adaptado de ANTON, 2015.

Nesse período, o condicionamento de ar e a iluminação elétrica mais eficientes energeticamente influenciaram diretamente nos desenvolvimentos dos projetos arquitetônicos, pois permitiam a sensação de controle de quase todas as variáveis climáticas interiores. No entanto, a partir da crise de energia e do embargo de petróleo, em 1973, ficou insustentável o alto consumo energético dessas edificações. Como consequência disso, colocaram-se em questão as vantagens do trabalho em espaços integrados. Desse modo, os escritórios retornaram à configuração convencional de salas individuais com corredores centrais, regressando ao modelo inflexível (FIALHO, 2007; RASSIA, 2017).

Nos anos 1980, verificou-se um impacto provocado diretamente pela configuração espacial da década precedente: as condições internas das edificações estavam prejudicando a saúde dos seus usuários, apresentando efeitos que pareciam estar diretamente relacionados ao tempo de permanência dentro da edificação. Entretanto, somente em 1983, a Organização Mundial da Saúde (OMS) identificou os sintomas relacionados a permanência no espaço interno denominando

esse conjunto de sintomas de *síndrome dos edifícios doentes* (SED). Com isso, os escritórios passaram por transformações até a década seguinte, quando os temas primordiais nos projetos passaram a ser a refrigeração, a ventilação e a iluminação. As configurações internas apresentavam espaços flexíveis com funções públicas, semipúblicas e privadas, e aplicavam os diferentes conceitos de configuração, como a célula, o escritório combinado e a planta livre (Figura 18) (FIALHO, 2007; STERLING; COLLETT; RUMEL, 1991).

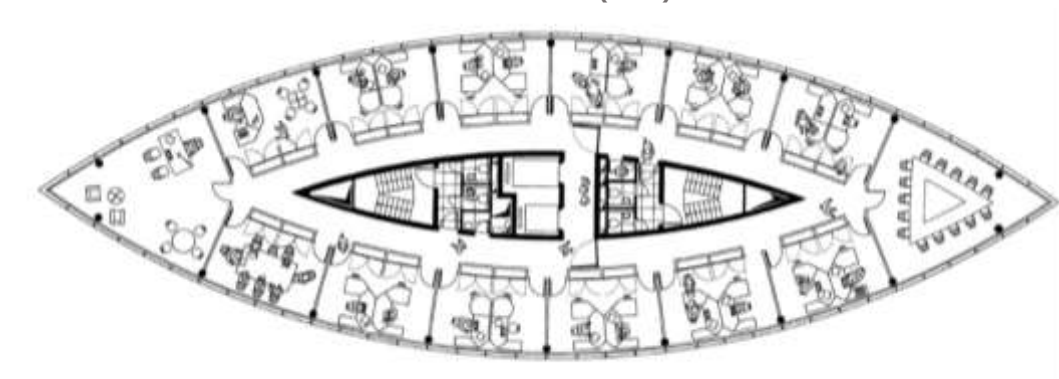
Figura 18 – Planta baixa de um escritório combinado



Fonte: adaptado de ANTON, 2015.

Na década de 1990, os escritórios passaram a ser projetados com foco no conforto humano, considerando estratégias de economia de energia e de aproveitamento da iluminação natural, gerando ambientes de trabalho mais flexíveis, ainda com mobiliários padronizados, porém agora adotando estratégias ergonômicas. A inserção do computador como a principal ferramenta de trabalho causou um importante impacto no planejamento da iluminação, transformando a tecnologia das luminárias com lâmpadas fluorescentes utilizadas até esse momento. Devido à alta luminância emitida de forma quase horizontal, o ofuscamento e os reflexos indesejados passaram a afetar a visualização das telas dos computadores (Figura 19). Conseqüentemente, as luminárias exigiram aperfeiçoamentos em seu desenho para oferecer proteção, originando as luminárias com aletas parabólicas para controle do desconforto visual (BOUBEKRI, 2014; DILOUIE, 2009; FIALHO, 2007).

Figura 19 – Escritório da década de 1990: Business Promotion Center em Duisburg (Alemanha) da Foster +Partners (1993)



Business Promotion Center (1993)



Fonte: FOSTER + PARTNERS, 1993.

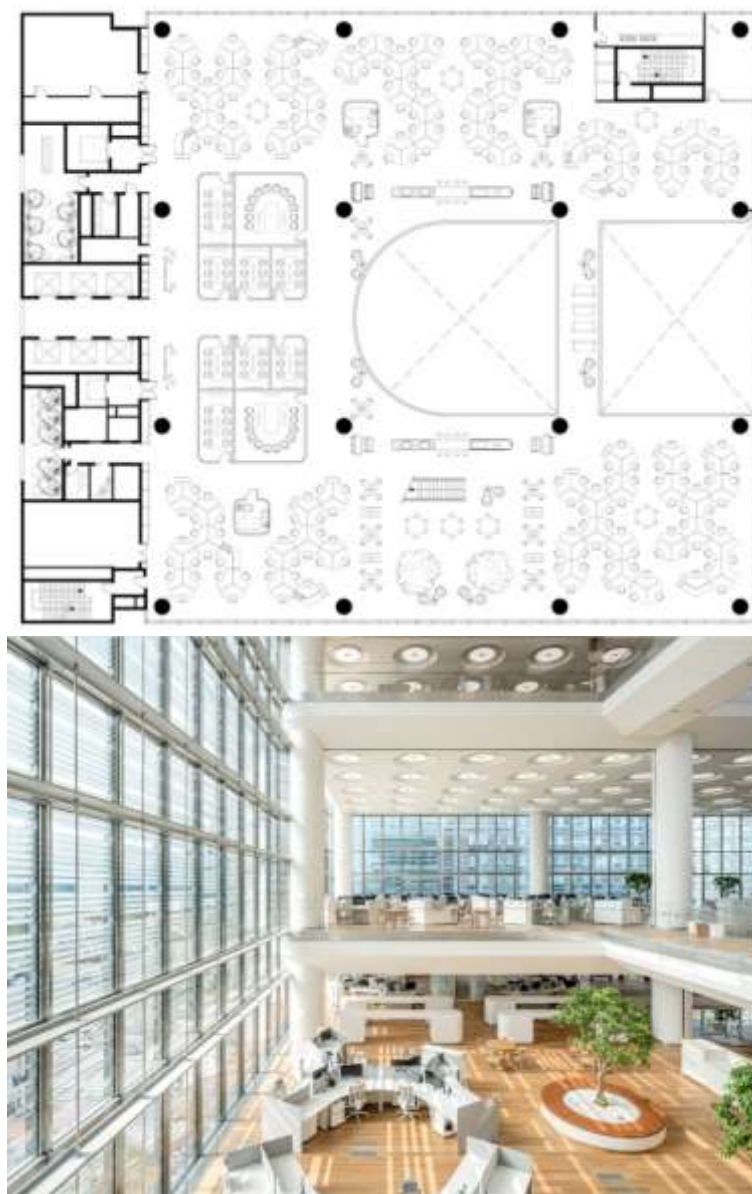
Do início do século XXI até o momento atual, os escritórios estão passando pelo processo de adaptação às novas tecnologias e aos novos conceitos de trabalho. Enquanto ainda muitos escritórios seguem o modelo utilizado na década de 1990, outros estão se encaminhando para a Quarta Revolução Industrial, que está associada à criação de novos modelos de operação. Com uma internet móvel e onipresente, o trabalho não se concentra mais exclusivamente no espaço físico, sendo transportado em partes para o mundo virtual. Isso estimulou o trabalho remoto, pois, mesmo estando fora dos locais físicos de um escritório, os trabalhadores podem exercer suas funções de casa, de um hotel ou mesmo de um café. Com isso, os ambientes de trabalho estão se tornando espaços de encontros presenciais flexíveis e colaborativos, com mobiliários inteligentes, postos de trabalho do tipo “conectar e trabalhar” e salas privadas de reuniões por agendamento (FIALHO, 2007; RASSIA, 2017; SCHWAB, 2016).

Conforme Neufert (2013), as novas tendências de configuração dos espaços seguem o modelo de *escritório combinado*⁷⁸, onde tudo é planejado a partir das necessidades específicas de cada organização, variando de acordo com seu conceito de trabalho e focando no bem-estar de seus funcionários. Em sua configuração espacial, a essência está na possibilidade de uso variado e na qualidade ambiental. Os ambientes apresentam áreas que se transformam de acordo as necessidades do usuário, podendo ser alterados no processo diário de atividades, como salas individuais para concentração ou trabalhos em grupo; áreas com equipamento de uso coletivo temporário; e ambientes de descanso, encontros informais e alimentação. Em novos edifícios, haverá possibilidade de a reversibilidade de uso para poder responder aos novos ciclos inovadores das tecnologias aplicadas aos escritórios ganha uma grande importância, assim como os princípios de sustentabilidade⁷⁹ (Figura 20).

⁷⁸ Segundo Neufert (2013, p. 246), o *hotelling office* (somente com salas de reunião com foco no recebimento de clientes e visitantes) e o *business-club* (estações de trabalho de uso eventual e salas privadas para reunião ou trabalho em grupo) não são esquemas espaciais, pois ambos apresentam esquemas flexíveis de trabalho. A eficiência é obtida através da organização funcional da empresa e não da construção de espaços estáticos, tendo como objetivo o cuidado da saúde e bem-estar de seus funcionários.

⁷⁹ Essa dissertação foi finalizada durante a pandemia de COVID-19. Essa situação pode causar uma grande influência nas formas e dinâmicas de trabalho, acelerando o processo de criação de novos modelos de operação, indicando futuras transformações profundas na configuração e aplicabilidade dos escritórios.

Figura 20 – Escritório do século XXI: Hankook Tecnoplex em Pangyo (Coréia do Sul) da Foster +Partners (2020) - Nível 8



Fonte: FOSTER + PARTNERS, 2020.

A iluminação funciona como uma ferramenta de projeto essencial nesses ambientes, proporcionando boas condições visuais e satisfação com o local de trabalho através da combinação de iluminação elétrica e iluminação natural. As novas tecnologias, fontes de luz (LED) e sistemas de gerenciamento de iluminação facilitam a obtenção de conforto visual no ambiente, contribuindo para a economia de energia elétrica e de custos de manutenção. Conceitos como da iluminação elétrica estática, geralmente padronizada e uniforme, estão sendo substituídos por soluções flexíveis de iluminação dinâmica e de alta qualidade, que pode ser

regulada conforme necessário, integradas à iluminação natural incidente no ambiente (DILAURA et al., 2011; LICHT.DE, 2012).

3.2 O processo de projeto de iluminação convencional

O processo de projeto luminotécnico, de forma geral, assemelha-se muito ao processo de projeto de arquitetura em suas etapas. Ele raramente é um processo linear, contudo seus princípios gerais são válidos para a maior parte dos projetos luminotécnicos. Além disso, apresenta enfoque e detalhamentos diferenciados do projeto de arquitetura, com etapas específicas da matéria de iluminação (BANDEIRA, 2018; DILAURA et al., 2011; INNES, 2014).

Bandeira (2018) procurou construir um modelo de processo de projeto de iluminação aplicado à arquitetura, baseado em processos de projeto arquitetônico. Esse estudo apresentou a entrevista com responsáveis por quatro escritórios de iluminação brasileiros, com períodos de experiência profissional distintos⁸⁰, a fim de analisar seus processos de projeto. De posse dessas informações e relacionando-as com a revisão da literatura, Bandeira construiu um processo de projeto dividido em três macrofases: pré-projeção, projeção e pós-projeção.

A pré-projeção consiste na etapa em que se inicia a análise do programa de arquitetura, determinando as necessidades visuais do projeto, além de realizar as análises objetivas⁸¹ e subjetivas⁸² das intenções dos clientes. Nessa macrofase, o programa de necessidades luminotécnico é formalmente definido, sendo apresentado ao cliente, que em muitos casos, é o próprio arquiteto da obra. A partir dessa reunião, uma avaliação é realizada para que se possa avançar para a próxima macrofase.

A projeção é a etapa de elaboração dos projetos, na qual são definidos os conceitos e as ideias iniciais de projeto. Atividades específicas de projeto são

⁸⁰ Bandeira (2018) classificou a experiência do profissional de acordo com os anos de exercício da profissão de luminotécnico: 2 a 5 anos – mínima; 6 a 10 anos – pouca; 11 a 20 anos – razoável; mais de 20 anos – muita.

⁸¹ A análise objetiva consiste em avaliar o ambiente onde será desenvolvido o projeto luminotécnico de acordo com legislações, normas, entorno, meio ambiente, etc. (BANDEIRA, 2018).

⁸² A análise subjetiva consiste em avaliar parâmetros como visibilidade, conforto visual, humor, atmosfera, comunicação social, julgamentos estéticos, desempenho de tarefas, saúde, segurança e bem-estar (BANDEIRA, 2018).

realizadas nessa fase, que é dividida nas etapas de estudo preliminar⁸³, anteprojeto⁸⁴ e projeto executivo⁸⁵. Uma seleção inicial de equipamentos é realizada em conjunto com um pré-orçamento. A conceituação da iluminação é apresentada através de esboços, croquis, imagens manipuladas em softwares específicos, plantas baixas e cortes, por exemplo. Nessa etapa, a simulação computacional é utilizada como ferramenta de planejamento para confirmar as hipóteses desenvolvidas no estudo preliminar. Confirmado o bom desempenho de projeto e a concordância entre projetista e cliente, o projeto executivo é realizado. Finalmente, a pós-projeção consiste na execução do projeto, com o acompanhamento da instalação dos sistemas de iluminação para ajustes finos (BANDEIRA, 2018, p. 91–102).

É importante que se entenda o conceito de projeto luminotécnico convencional, que é aquele em que se utilizam as quantidades fotométricas como definições quantitativas de luz (métrica) para planejar e prever as condições de iluminação de um ambiente.

3.3 Métricas fotópicas: unidades para o sistema visual humano

Os seres humanos tem um sistema visual que trabalha de forma harmoniosa sob uma grande variedade de condições de iluminação sendo, contudo, incapazes de medir os níveis de iluminação através da observação. Por isso, a fotometria⁸⁶ buscou uma definição quantitativa de luz (métrica), permitindo que se pudesse planejar e prever as condições de iluminação de um ambiente.

A *Comission Internationale de l'Eclairage* (CIE) e o Sistema Internacional (SI)⁸⁷ definiram as métricas fotópicas⁸⁸, que têm como base do seu desenvolvimento a

⁸³ O estudo preliminar é uma etapa na qual são definidos os conceitos de projeto. Nessa etapa, são trabalhadas a composição visual e a iluminação de cada espaço, são pré-selecionadas as luminárias e é montada uma apresentação inicial ao cliente. Sendo aprovado, segue para a etapa de anteprojeto.

⁸⁴ O anteprojeto é o ajuste fino do projeto; nessa etapa, são realizados os cálculos de iluminação, a formalização de plantas, cortes e fachadas e o orçamento final e é montada uma segunda apresentação. Sendo aprovado, ele segue para a etapa de projeto executivo.

⁸⁵ O projeto executivo é a etapa de detalhamento de projeto para a execução no ambiente; nessa etapa, são elaborados o memorial descritivo e o manual de uso e operação.

⁸⁶ Fotometria é a área da radiometria que define formas de quantificar a luz.

⁸⁷ Tradução nossa da expressão *Système International d'Unités* (SI).

⁸⁸ A dissertação irá se referir a *métricas fotópicas* quando abordar as métricas que utilizam a *função de eficiência fotópica luminosa* $V(\lambda)$ como base para a derivação de suas unidades, assim como *iluminância*, que se refere à métrica usual.

curva de sensibilidade visual à luz do olho humano, denominada *função de eficiência fotópica luminosa* $[V(\lambda)]$. Portanto, as unidades fotométricas que são utilizadas nos projetos de iluminação atuais são derivações da sensibilidade visual à luz do olho humano, desconsiderando os aspectos não visuais da luz.

3.3.1 Unidades de medida fotométricas do Sistema Internacional do CIE e suas definições

As unidades fotométricas são utilizadas para caracterizar, especificar ou regular as fontes de luz, determinando a sua aplicação. A medida fundamental da quantidade de luz baseia-se no conceito de fluxo luminoso, definido em lumens (lm). O fluxo luminoso total emitido por uma fonte luminosa é, portanto, a soma das intensidades luminosas da fonte em todas as direções (BOYCE, 2003; DILAURA et al., 2011; REA, 2013). A partir dessa unidade, todas as outras unidades luminotécnicas são concebidas, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Unidades fotométricas básicas

Medida	Símbolo	Definição	Unidade
Fluxo Radiante		A taxa de fluxo de energia emitida por todas as ondas eletromagnéticas.	Watts (W)
Fluxo Luminoso	Φ_v	A quantidade de <i>fluxo radiante</i> que expressa a sua capacidade de produzir sensações visuais e é medido conforme a <i>função de eficiência fotópica luminosa</i> $[V'(\lambda)]$.	Lumens (lm)
Intensidade Luminosa	I_v	É a medida do <i>fluxo luminoso</i> em uma direção particular. Uma candela é definida como tendo um <i>fluxo radiante</i> de 1/683 W por um ângulo sólido (esteradiano) em 555 nm.	Candela (cd)
Iluminância	E_v	O <i>fluxo luminoso</i> por unidade de área em um ponto de uma superfície.	Lux (lm/m ² ou lx)
Luminância	L_v	O <i>fluxo luminoso</i> emitido em uma determinada direção dividido pelo produto da área projetada do elemento de origem perpendicular à direção e o ângulo sólido que contém essa direção. Ex. Intensidade Luminosa / unidade de área.	Nit (cd/m ²)
Eficiência Luminosa		Relação entre o <i>fluxo luminoso</i> e a energia consumida.	lm/W

Fonte: adaptado de BOYCE, 2003.

3.3.2 Índice de Reprodução de Cores (IRC) e Temperatura de Cor Correlata (TCC)

A colorimetria é a medida da cor. A premissa do sistema colorimétrico é a combinação de cores, baseadas em medições de correspondência de cores a partir da equivalência visual de seres humanos. Com isso, são desenvolvidas funções e curvas de sensibilidades espectrais relativas de observadores com visão normal (não acometidos por acromatopsia⁸⁹ ou daltonismo⁹⁰) (BOYCE, 2003; DILAURA et al., 2011; REA, 2013).

Para o CIE, existem três funções de correspondência por cores, já que os seres humanos podem perceber as cores com base em, no máximo, três combinações de comprimento de onda de luz nas regiões longas, médias e curtas⁹¹. O CIE adotou em 1964 os valores do sistema tricromático baseado nos estímulos primários (vermelho, verde e azul - RGB⁹²), para desenvolver um novo sistema de estímulos primários. As cores da fonte de luz podem ser representadas matematicamente multiplicando a distribuição da potência espectral da fonte de luz, onda por onda, por cada uma das funções de correspondência por cor $[\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)]$. O resultado é nomeado como X, Y e Z, representando as três cores primárias em um espaço tridimensional descrito por funções⁹³, denominadas *função de ocorrência de cor de um observador padrão* (Figura 21).

⁸⁹ Acromatopsia é uma deficiência da visão que causa a "incapacidade de distinguir as cores, tendo-se unicamente a sensação de perceber o branco, o preto e os matizes intermediários" (MICHAELIS, 2020).

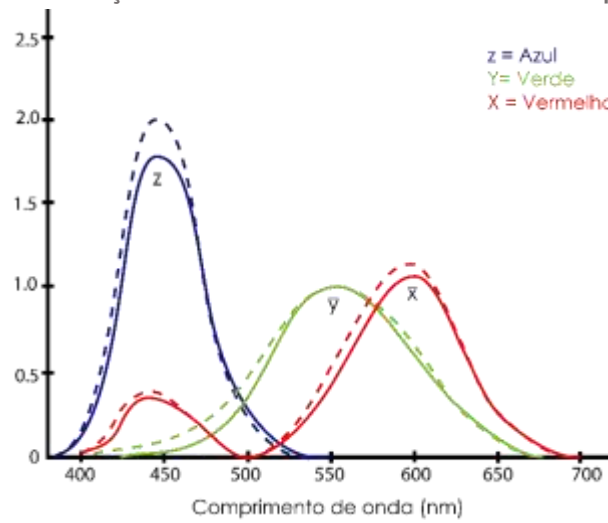
⁹⁰ Daltonismo é uma "incapacidade congênita para distinguir certas cores, principalmente o vermelho e o verde, que geralmente afeta indivíduos do sexo masculino" (MICHAELIS, 2020).

⁹¹ Baseado na Teoria do Triestímulo. O olho humano tem três tipos de cones, sendo que cada um deles percebe de forma diferente as cores [vermelho (R), verde (G) e azul (B)]. A soma dessas cores, em dois ou três estímulos, proporciona diferentes nuances de cor pela diferente excitação dos cones. A soma das cores vermelho, verde e azul é o que proporciona a sensação de luz branca (GUYTON; HALL, 2011).

⁹² RGB é o sistema primário de cores que representam o comprimento de onda e de cores que estimulam o sistema humano, sendo as cores vermelho (R - red), verde (G - green) e azul (B - blue).

⁹³ $X = h \sum S(\lambda) \cdot x(\lambda) \cdot \Delta\lambda$; $Y = h \sum S(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot \Delta\lambda$; $Z = h \sum S(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot \Delta\lambda$

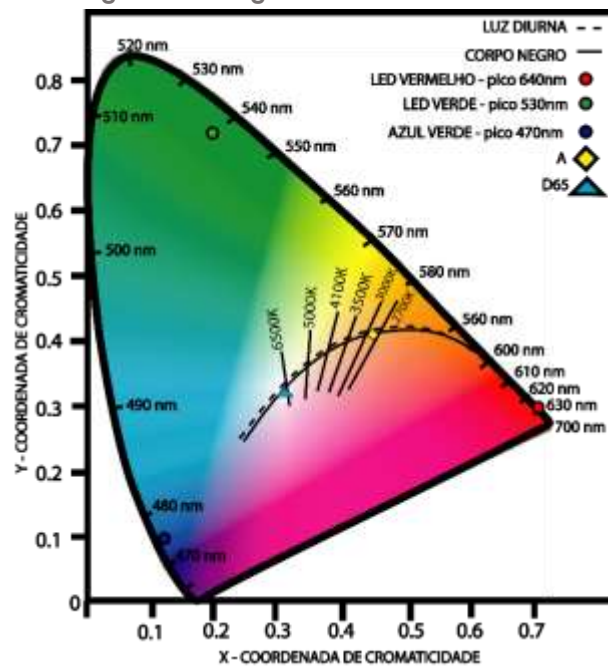
Figura 21 - Função de ocorrência de cor CIE observador padrão



Fonte: adaptado de BOYCE, 2003.

Com isso, em 1931, o CIE determina o Diagrama de Cromaticidade, considerado o mapa das cores (Figura 22).

Figura 22 - Diagrama de cromaticidade



Fonte: adaptado de CIE, 1931.

Assim, somente duas das coordenadas são utilizadas para definir a cromaticidade de uma cor, as quais são, por convenção, as coordenadas x e y. Dado que uma cor pode ser representada por duas coordenadas, todas as cores podem ser representadas em uma superfície bidimensional (BOYCE, 2003; DILAURA et al., 2011).

Nesse diagrama é representada, também, a curva do *radiador de planck*. Essa curva é determinada através de um *corpo negro ideal*⁹⁴, que absorve toda a energia e a emite na forma de radiação em temperatura Kelvin (K). Assim, a temperatura está diretamente relacionada com a cor da energia emitida, permitindo descrever a cor da luz em função da sua temperatura em Kelvin (K) (BOYCE, 2003; DILAURA et al., 2011).

A partir do diagrama de cromaticidade do CIE, derivam-se duas métricas de quantidades numéricas únicas: a temperatura de cor correlata (TCC)⁹⁵ e o índice de reprodução de cores (IRC)⁹⁶.

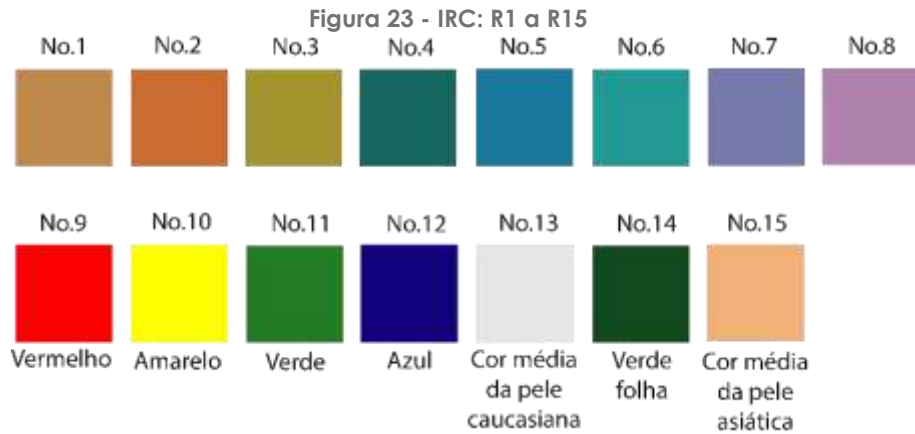
A temperatura de cor correlata (TCC) é a escala que se relaciona com a curva da radiação de Planck, sendo a sua escala a temperatura de cor em Kelvin (K). Por exemplo, tem-se um corpo de prova negro que é aquecido até se tornar incandescente. No início do aquecimento, com uma temperatura mais baixa, o corpo assume a cor vermelha; à medida que a temperatura aumenta, ele assumirá a cor amarela em uma temperatura intermediária e azul em temperaturas mais altas. Assim, percebe-se que as cores são relacionadas diretamente com a sua temperatura em Kelvin (K).

O índice de reprodução de cores (IRC) representa o grau de fidelidade com que uma fonte de luz revela a cor de objetos iluminados em relação à aparência dessas cores quando iluminadas por uma fonte natural. Isso foi definido através de um experimento, no qual corpos de prova com diferentes cores e nomes (de R1 a R15) foram dispostos sob a fonte de luz a ser analisada e comparados com uma fonte de luz padrão, geralmente a 5000 K (Figura 23).

⁹⁴ O corpo de prova negro ideal é um objeto hipotético que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide, sendo que nenhuma luz o atravessa ou reflete nele (BOYCE, 2003).

⁹⁵ Tradução de nome e sigla pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013a) do termo *Correlated Color Temperature (CCT)*.

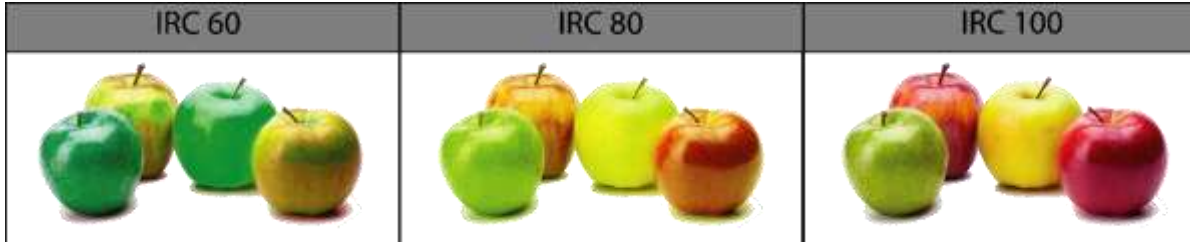
⁹⁶ Tradução de nome e sigla pela ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013a) do termo *Color Rendering Index (CRI)*.



Fonte: adaptação de CIE, 1965 apud LIMA, 2010.

Assim, o índice é calculado a partir da diferença entre a irradiação emitida pelo corpo de prova sob a luz padrão e sob a luz a ser examinada. Por definição, a fonte ideal tem o IRC=100, considerado o valor máximo e sem distorção da cor real do objeto exposto (Figura 24), sendo que as fontes que apresentam IRC < 60 são consideradas de baixa qualidade de reprodução de cor.

Figura 24- Exemplo da distorção da cor e o IRC



Fonte: AUTORA, 2020.

3.3.3 Fontes de luz e a distribuição espectral de potência radiante

A luz pode ser emitida de fontes diferentes e ser produzida naturalmente, a partir do sol, ou artificialmente, a partir de fontes elétricas e da combustão de óleos e gases. A radiação óptica⁹⁷ que essas fontes de luz emitem podem ser separadas em uma quantidade relativa de energia radiante em cada comprimento de onda do espectro visível da luz. A *distribuição espectral de potência radiante*⁹⁸ (DEP) é a

⁹⁷ Radiação óptica é a medida da energia produzida pela excitação atômica quando os elétrons transitam entre os átomos, medida em Elétron-Volt ($1,6 \times 10^{-19}$ Joule).

⁹⁸ Tradução livre da autora da expressão *Spectral Power Distribution* (SPD).

expressão numérica que traduz essas radiações ópticas, da potência relativa que uma fonte de luz emite em cada comprimento de onda (DILAURA et al., 2011).

3.3.3.1 Iluminação natural

Uma das características primárias de iluminação natural é a sua variabilidade. Ela varia em magnitude, conteúdo espectral, distribuição em diferentes condições meteorológicas, diferentes horários do dia e do ano e em diferentes latitudes, podendo ser dividida em dois componentes: luz do sol (*sunlight*) e luz do céu (*skylight*). A luz do sol é aquela que é recebida na superfície da Terra diretamente do sol, produzindo sombras bem definidas. Já a luz do céu é a luz do sol que atinge a superfície da Terra depois de se disseminar pela atmosfera⁹⁹, produzindo sombras fracas e difusas (BOYCE, 2003; DILAURA et al., 2011).

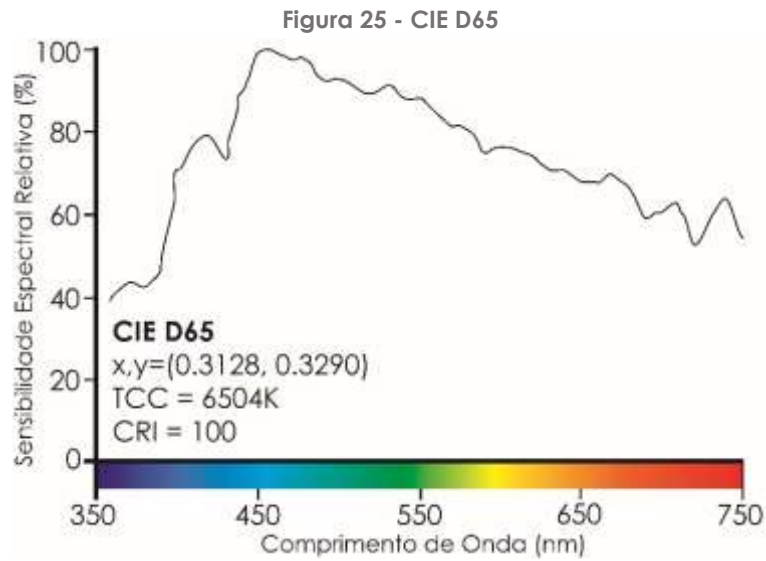
As iluminâncias na superfície da Terra produzidas pela luz do dia podem atingir até 150.000 lux em um dia ensolarado e cerca de 1.000 lux em um dia extremamente nublado no inverno. As temperaturas de cor dos dias ensolarados podem também variar de 5.500 K em um dia de céu encoberto para 20.000 K em um dia de céu claro (DILAURA et al., 2011).

Um dos padrões de DEP mais utilizados é o CIE D65 (Figura 25). Esse espectro é planejado para representar a luz diurna média, com uma TCC de aproximadamente 6.500 K e um CRI de 100 para a Europa Ocidental e do Norte¹⁰⁰. O iluminante-padrão¹⁰¹ D65 da CIE é utilizado em todos os cálculos colorimétricos que exigem luz diurna representativa, a menos que existam motivos específicos para usar um iluminante diferente. Variações da distribuição da energia espectral relativa da luz do dia ocorrem principalmente na região espectral ultravioleta em função da estação do ano, da hora do dia e da localização geográfica. Contudo, o padrão CIE D65 é o utilizado na falta de informações sobre essas variações (CIE, 2006).

⁹⁹ Essa luz difusa dá ao céu a sua aparência azul, quando comparada com o preto do espaço (BOYCE, 2003).

¹⁰⁰ Não existe um iluminante-padrão que represente o céu do hemisfério sul e, por isso, seguindo as recomendações da CIE, esse iluminante é utilizado como base nesta dissertação.

¹⁰¹ O iluminante-padrão é uma fonte teórica de luz visível com um perfil de distribuição de potência espectral (SPD) pré-determinado fornecido pela CIE. Esse perfil é utilizado como base comparativa a outras fontes de luz. Os iluminantes-padrão CIE são usados em colorimetria para calcular os valores triestímulo das cores dos objetos refletidos ou transmitidos sob condições específicas de iluminação.



Fonte: adaptado de CIE, 2006.

3.3.3.2 Iluminação elétrica através do LED

O *Light Emitting Diode* (LED) é uma tecnologia existente desde a década de 1930, contudo foi apenas no final dos anos 1990 que foi desenvolvido um LED prático e de alta luminosidade (INNES, 2014). Essa fonte de luz é uma das mais presentes no mercado da iluminação e seu uso está em plena ascensão, principalmente após a implantação de políticas públicas para a redução do consumo de energia no Brasil (ALTOÉ et al., 2017).

O LED é uma fonte de luz formada por um diodo semicondutor em estado sólido, cujo princípio de funcionamento é através da eletroluminescência¹⁰². De maneira oposta às outras fontes de luz elétricas, como as lâmpadas incandescente e fluorescente, por exemplo, o LED não possui filamento, eletrodos, gás ou tubo de descarga. Sua luz é gerada a partir de um chip e, dependendo da composição química do cristal em estado sólido nele contida, a emissão de luz ocorre em uma faixa determinada do espectro visível, principalmente nas cores verde, vermelho, azul e branco (CHO et al., 2017; DILAURA et al., 2011).

Existem três composições possíveis atualmente para a geração da luz branca com LED (Figura 26). A primeira é um LED com múltiplos chips, sendo que cada um emite luz em uma região específica do comprimento de onda vermelho, verde e azul

¹⁰² Eletroluminescência é o processo pelo qual a energia elétrica é convertida em luz.

(*red, green and blue*, ou RGB, em inglês), que misturados resultam na luz branca. A segunda é baseada na utilização de um chip LED que emite luz ultravioleta (UV), a qual atravessa uma camada de fósforo capaz de convertê-la em luz branca de largo espectro. A terceira e mais bem-sucedida das composições é uma combinação de um chip LED que emite luz UV, revestido com uma camada de fósforo que emite luz verde e vermelha. Nessa composição, a luz azul emitida pelo chip LED é parcialmente absorvida pelo fósforo, enquanto outra parte transpassa a camada emitindo luz vermelha e verde. Como resultado, a emissão da luz azul (do chip LED), da luz vermelha (do fósforo) e da luz verde (do fósforo) formam a luz branca (CHO et al., 2017).

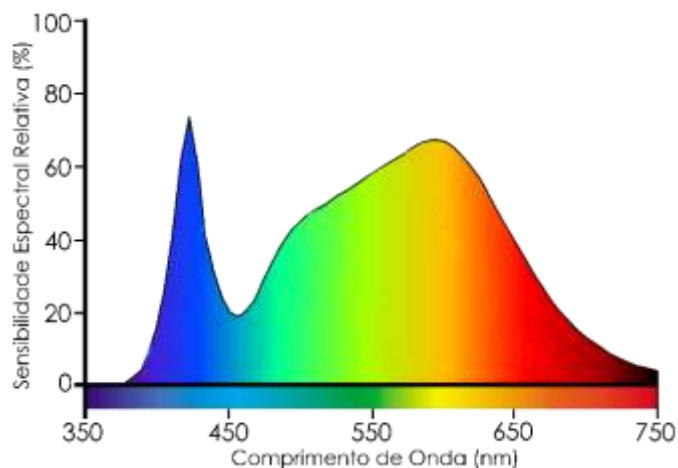
Figura 26 - Composições de LED para a geração da luz branca



Fonte: AUTORA, 2020.

A combinação de semicondutores de materiais distintos acaba por gerar emissões de radiação óptica contínuas que se estendem por todo o espectro visível. Essas combinações acabam gerando um DEP característico (Figura 27), porém alteram suas concentrações nas regiões de comprimento de ondas curtas, médias e longas do espectro visível, dependendo da tecnologia de LED e dos materiais aplicados (CHO et al., 2017).

Figura 27 – DEP característico do LED



Fonte: AUTORA, 2020.

O LED tem como origem de seu funcionamento a emissão de luz UV, apresentando uma alta concentração de radiação eletromagnética na região do espectro circadiano ativo (luz azul). Ou seja, os LEDs têm uma alta concentração de luz na região de comprimentos de onda em que os ipRGC emitem sinais para a glândula pineal suprimir a produção de melatonina. Nos últimos anos, a tecnologia está em evolução para reduzir os possíveis impactos causados por essa fonte de luz. Por isso, é imprescindível o projetista ter o conhecimento de como o LED foi concebido e qual é o seu DEP característico, para que ele possa utilizar as melhores estratégias em seus processos de projeto com o objetivo de desenvolver uma iluminação de maior qualidade, evitando ao máximo a desregulação do sistema não visual humano.

3.4 Recomendações e legislações relacionadas aos projetos de iluminação

Existem legislações e recomendações vigentes que orientam o projetista nas suas tomadas de decisão em projetos para iluminação. Essas legislações buscam definir as recomendações mínimas a serem atendidas em projeto, tanto em relação à iluminação natural (nas aberturas mínimas das janelas e em seu posicionamento no espaço) quanto em relação à iluminação elétrica (iluminâncias mínimas em função do ambiente, temperaturas de cor para cada tipo de atividade e ofuscamento, por exemplo).

3.4.1 Iluminação natural

A iluminação natural implica a transmissão e a distribuição da luz do sol e do céu¹⁰³ para o interior de uma edificação, a fim de fornecer iluminação suficiente para que se atendam às necessidades visuais e biológicas dos ocupantes de um ambiente e/ou superfície de trabalho. Apesar de ser importante, a luz natural não é adequadamente explorada pela maior parte dos projetos arquitetônicos (DILAURA et al., 2011; LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

¹⁰³ A luz do sol é a radiação eletromagnética direta do sol, enquanto a luz do céu é a radiação eletromagnética difusa que provém da reflexão e refração no solo, em edificações e em outros obstáculos (DILAURA et al., 2011).

O projeto de uma edificação naturalmente iluminada é uma tarefa desafiadora, pois precisa, ao mesmo tempo, atender às necessidades de conforto visual e térmico do ocupante e equilibrar a qualidade da iluminação com eficiência energética, considerando todas as variações climáticas e, conseqüentemente, de luz natural. Portanto, o planejamento de iluminação natural exige conhecimentos específicos, visto que as fontes de iluminação, as propriedades dos materiais, os sistemas de envoltórias e a integração de todos esses elementos influenciam na iluminação natural das edificações e no conforto do usuário (DILAURA et al., 2011).

Em nível internacional, a IES LM¹⁰⁴-83-12 (IES, 2013) é a norma que apresenta métricas para avaliar a qualidade da iluminação natural em espaços comuns de trabalho. Uma dessas métricas é chamada de *Spatial Daylight Autonomy*¹⁰⁵ (sDA_{300 lux,50%}) e a outra de *Annual Sunlight Exposure*¹⁰⁶ (ASE_{1000 lux,250h}). A métrica sDA se refere à porcentagem da área do ambiente que está exposta à iluminância de pelo menos 300 lux por 50% do período de trabalho (8h-12h/13h-18h) no intervalo de um ano em 0,76 m do piso acabado (plano de trabalho). Essa métrica avalia a quantidade de entrada de iluminação natural, indicando as porcentagens mínimas para que o ambiente permaneça suficientemente iluminado para atender às exigências visuais do usuário. Já a métrica ASE se refere à porcentagem da área que está exposta à iluminância igual ou maior que 1.000 lux por mais de 250 horas durante o período de trabalho de um ano em 0,76 m do piso acabado. Quando mais de 10% da área total do ambiente atinge uma iluminância maior ou igual a 1.000 lux por mais de 250 horas, isso significa uma grande possibilidade de essa zona apresentar ofuscamento, gerando um problema de desconforto visual¹⁰⁷. A IES também disponibiliza a *Recommended Practice (RP) for Daylight Buildings*¹⁰⁸, a IES RP-5-13, que indica dados básicos e técnicas que auxiliam o projetista a realizar um melhor aproveitamento da iluminação natural, mostrando quais são as oportunidades e restrições para a aplicação em projeto.

¹⁰⁴ *Lighting Measurement Testing*

¹⁰⁵ Autonomia de iluminação natural por área. Tradução livre da autora.

¹⁰⁶ Exposição anual à incidência direta de sol. Tradução livre da autora.

¹⁰⁷ Essas normas são utilizadas no Brasil quando a edificação passa pelo processo de certificação de acordo com os parâmetros LEED. Uma métrica semelhante ao sDA pode vir a ser utilizada em uma próxima revisão da ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013b), de acordo com a reunião do grupo de trabalho para discutir a revisão da norma de desempenho realizada em novembro de 2019 (CBIC, 2019).

¹⁰⁸ Recomendação de prática para edificações naturalmente iluminadas. Tradução livre da autora.

No Brasil, a ABNT NBR 15215 – Iluminação natural (ABNT, 2005a) é a norma que trata especificamente de iluminação natural e está dividida em quatro volumes. Nesses volumes, são apresentados os procedimentos estimativos de cálculo da disponibilidade da luz natural em planos horizontais e verticais externos para as diferentes condições de céu (claro, encoberto, parcialmente encoberto ou intermediário) (ABNT, 2005b) e os procedimentos de cálculo para a determinação da quantidade de luz natural incidente em um ponto interno em um plano horizontal através das aberturas da edificação (ABNT, 2005c). A ABNT NBR 15215-4 - Iluminação natural, Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição (ABNT, 2005d) é o tomo que apresenta métodos para a verificação experimental das condições de iluminância e luminância de ambientes internos, sendo o único com indicações de dias para as medições serem realizadas. O documento orienta que os levantamentos sejam feitos em dias próximos ao solstício de verão (22 de dezembro) e ao solstício de inverno (22 de junho) de 2h em 2h a partir do início do expediente de trabalho (ABNT, 2005d, p. 6).

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior (ABNT, 2013c) aborda brevemente a iluminação natural. De forma geral, orienta que a iluminação seja inserida nos ambientes internos de trabalho, sendo que ela pode ser obtida através de aberturas zenitais e outros meios de fenestração. Contudo, a norma sugere que a luz natural seja utilizada evitando o contraste excessivo e o desconforto térmico causado pela exposição direta da luz do sol nas áreas de trabalho. A mesma norma afirma que proteções solares, como brises, cortinas ou persianas, são os sistemas mais adequados para que não ocorra a exposição direta dos ocupantes do ambiente de trabalho. O único parâmetro quantitativo recomendado é o de que o *fator de luz natural*¹⁰⁹ não seja inferior a 1% no plano de trabalho, a 3 m da parede da janela e a 1 m das paredes laterais, não havendo recomendações de iluminância mínima ou máxima sobre o plano de trabalho.

¹⁰⁹ O Fator de Luz natural é uma métrica de avaliação de iluminação natural interior ao ambiente. Ela compreende a "razão entre a iluminação natural num determinado ponto em um plano horizontal interno devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste com uma distribuição de luminâncias conhecida, e a iluminação num plano horizontal externo produzida pela abóbada celeste totalmente desobstruída, expressa como uma percentagem" (ABNT, 2005e).

No âmbito municipal, o Plano Diretor¹¹⁰ (PD) é o mecanismo legal que regulariza o desenvolvimento urbano, enquanto o Código de Edificações é o que estabelece níveis mínimos de qualidade nas edificações através de condições de habitabilidade, durabilidade e segurança. O PD influencia na configuração da cidade, determinando as alturas máximas (a partir do índice de aproveitamento) e a densidade de ocupação (a partir da taxa de ocupação de solo), o que reflete na incidência direta de iluminação natural nas edificações (SCALCO; PEREIRA, 2016). O Código de Edificações estabelece as regras gerais e específicas a serem obedecidas em projeto arquitetônico e na construção, uso e manutenção de edificações, determinando vãos de iluminação e ventilação mínimos para cada compartimento da edificação, dependendo do tipo de atividade a ser realizada no ambiente.

O Código de Edificações da cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, Brasil (30° 01' 59" S / 51° 13' 48" W)¹¹¹, especifica que o total dos vãos de iluminação e ventilação para ambientes de escritórios não poderá ser inferior a 1/6 da área do piso do compartimento, o que leva à concepção de um projeto que possibilite as condições mínimas de habitabilidade da edificação (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1992, Art.98, ANEXO 4). Albuquerque e Amorim (2012) indicam em seu estudo que ambientes sem proteção solar nas aberturas com características padrão – abertura de 1/6 da área de piso, refletância do teto (80%), paredes (60%) e piso (30%) – podem garantir a iluminação natural adequada para o contexto territorial brasileiro, se o comprimento da sala for de até 2,57 vezes a altura da janela.

Entre essas recomendações e legislações de iluminação natural, as que foram utilizadas na construção da metodologia para o estudo de caso desta dissertação são as nacionais – ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior (ABNT, 2013c) e ABNT NBR 15215-4 - Iluminação natural, Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações,

¹¹⁰ O Plano Diretor Municipal é "o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana", de acordo com a Constituição Federal e o Estatuto da Cidade. Esse documento tem como objetivo conduzir o desenvolvimento do município nos seus aspectos econômicos, físicos e sociais.

¹¹¹ A cidade de Porto Alegre é a capital brasileira que está geograficamente localizada mais ao sul do país, abaixo do Trópico de Capricórnio, com grandes variações do fotoperíodo durante as estações do ano. Por essa razão, ela foi escolhida como base para o desenvolvimento do estudo de caso desenvolvido nesta dissertação. Isso será abordado com mais detalhes no capítulo 3 e 5.

Método de medição (ABNT, 2005d) – e a municipal – Código de Edificações¹¹² (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1992). Nesta dissertação, foi desenvolvido um estudo de caso (o qual será descrito detalhadamente no capítulo 5), que empregou esses conceitos para projetar um escritório administrativo hipotético (dimensões de ambiente, dimensões de fenestração e refletância dos materiais) e para definir as datas de análise (22/12 e 22/06 – solstícios) da metodologia de avaliação da iluminação natural (fase 01).

3.4.2 Iluminação elétrica

A iluminação elétrica é utilizada como um complemento quando há situações em que a luz natural não existe ou não perdura. Durante o ciclo claro, a integração entre iluminação elétrica e natural é necessária para que se possa obter um projeto com melhor eficiência energética, em que o desconforto visual é minimizado e a economia de energia é maximizada. No ciclo escuro, a luz elétrica é encarregada de propiciar a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas possam se deslocar e executar tarefas de forma segura, sem sofrer com a fadiga e o desconforto visual (DILAURA et al., 2011).

Internacionalmente, a principal referência sobre recomendações gerais de projeto de iluminação é a 10ª edição do *The Lighting Handbook: Reference and Application* da IES, com autoria de DILAURA et al. (2011)¹¹³. O livro dedica um capítulo inteiro à iluminação de escritórios¹¹⁴, identificando as diferentes iluminâncias horizontais e verticais para as diversas tarefas, em diferentes alturas de plano de trabalho¹¹⁵, levando em consideração a idade da maior parte dos usuários¹¹⁶. Além

¹¹² O Plano Diretor não foi utilizado, pois o estudo de caso está analisando o ambiente de escritório e não sua edificação. Além disso, o estudo de caso não considera nenhum tipo de interferência externa ao ambiente.

¹¹³ No mês da defesa dessa dissertação (outubro de 2020), a IES lançou uma plataforma on-line nomeada de *The Lighting Library*, que disponibiliza todas as normas da instituição por uma assinatura anual (<https://www.ies.org/lighting-library/>). Portanto, o *The Lighting Handbook: Reference and Application* 10ª edição (DILAURA et al., 2011) foi substituído pelas normas disponibilizadas por essa biblioteca. A autora decidiu manter o texto original apresentado à banca de defesa dessa pesquisa.

¹¹⁴ Capítulo 32 – *Lighting for Offices*, p.32.1 (DILAURA et al., 2011).

¹¹⁵ O livro apresenta a iluminância mantida (Em) e a iluminância vertical (Ev) mínima para se desempenhar a tarefa. A altura do plano de trabalho é indicada tanto para a Em quanto para Ev. As alturas padrões são de 0,6 m; 0,76 m; 0,91 m; 1,1 m; 1,2 m e 1,5 m.

¹¹⁶ O livro indica diferentes iluminâncias para cada tipo de tarefa, levando em consideração que, pelo menos, metade dos observadores (usuários) está em uma faixa etária. As faixas etárias consideradas são: <25 anos; 25-65 anos; e >65 anos.

disso, a obra apresenta algumas diretrizes gerais de projeto exemplificadas em imagens de ambientes de escritórios iluminados. Para escritórios onde o computador é utilizado como ferramenta de trabalho (*VDT Screen and Keyboard*) de usuários entre 25 e 65 anos, a iluminância mantida (E_m) recomendada pela IES é de 300 lux no plano de trabalho a 0,75 m do piso acabado, altura na qual as telas de computador Tipo I: Positiva¹¹⁷ são apoiadas (DILAURA et al., 2011, p. 32.8). Ela, também, indica a ANSI/IES RP 1-12: *American National Standard Practice for Office Lighting*¹¹⁸ (ANSI; IES, 2013), que é a norma nacional americana que regulamenta e orienta os projetos de iluminação em escritórios, atualizada para considerar novas configurações de espaço, tarefas realizadas em computador, novas fontes de luz e estratégias de controle.

No Brasil, a ABNT NBR 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior (ABNT, 2013a) é a norma que apresenta diretrizes para uma boa qualidade da iluminação interior dos ambientes de trabalho. A norma salienta que “*uma boa iluminação propicia a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas se vejam, se movam com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto*”. Portanto, ao contrário da norma de iluminação precedente, a ABNT NBR 5413 (ABNT, 1992), a norma atual especifica o controle do nível de desconforto por ofuscamento, realizando uma avaliação qualitativa e quantitativa do ambiente.

A norma brasileira aborda, em um primeiro momento, a distribuição da luminância (cd/m^2) no ambiente. O controle desse aspecto no campo de visão do usuário é importante para o grau de adaptação dos olhos, que pode afetar a visibilidade da tarefa, e para a manutenção do conforto visual, pois diferenças maiores que 1/3 entre os valores das luminâncias das superfícies adjacentes do mesmo ambiente podem causar fadiga visual. A norma não apresenta uma metodologia direta de avaliação de contraste de luminâncias¹¹⁹, sendo que as

¹¹⁷ Essa é uma classificação da norma CSA/ISO 9241-7 (2000) de Qualidades de Telas de Computador (Computer Screen Qualities). As telas Tipo I são aquelas que apresentam excelentes propriedades antirrefletoras, anti-ofuscantes e uma superfície fosca que resulta em uma mínima reflexão ou ofuscamento. Já as telas positivas, são aquelas em que o fundo tem como base a luz branca, similar ao papel com alguma coisa escrita ou desenhada (DILAURA et al., 2011, p. 12.13).

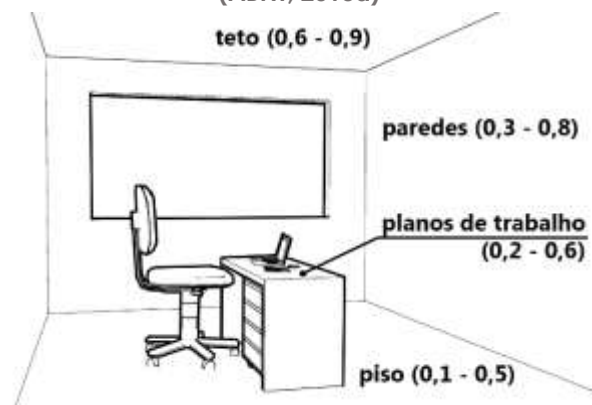
¹¹⁸ Norma nacional americana para a prática de iluminação de escritórios. Tradução livre da autora.

¹¹⁹ A IES apresenta uma norma de avaliação do contraste de luminâncias de superfícies de escritórios na ANSI/IES RP 1-12: *American National Standard Practice for Office Lighting* (2013).

refletâncias úteis indicadas para as superfícies internas, a iluminância no plano de trabalho e no entorno imediato, a determinação da uniformidade e a avaliação de *índice de ofuscamento unificado* (UGR¹²⁰) são os padrões para a manutenção do conforto visual.

Uma medida para a manutenção do conforto visual é determinar os limites mínimo e máximo para as refletâncias dos materiais do ambiente (Figura 28). Em uma escala que varia de 0 a 1, essa medida sugere para garantir o conforto visual que as refletâncias das superfícies se situem entre os seguintes valores: teto (0,6 – 0,9), paredes (0,3 - 0,8), planos de trabalho (0,2 – 0,6) e piso (0,1 - 0,5).

Figura 28 – Valores de refletância das superfícies do ambiente indicados pela ABNT NBR 8995-1 (ABNT, 2013a)



Fonte: AUTORA, 2020.

A iluminância é a métrica abordada de forma mais detalhada na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013a). Manter uma média de iluminância mínima em uma área de tarefa permite que o usuário possa realizá-la de forma rápida, segura e confortável. A área de tarefa, segundo a norma, compreende a zona onde a atividade é executada, enquanto a área de entorno imediato é uma faixa com uma largura de pelo menos 0,50 m ao seu entorno. Em um escritório com o local conhecido, por exemplo, a área de tarefa se concentra na mesa de trabalho e no espaço do usuário, considerada a 0,76 m do piso (Figura 29).

¹²⁰ A ABNT ISO/CIE 8995-1 utiliza a sigla conforme a sua versão em inglês. UGR é a sigla de *Unified Glare Rating*.

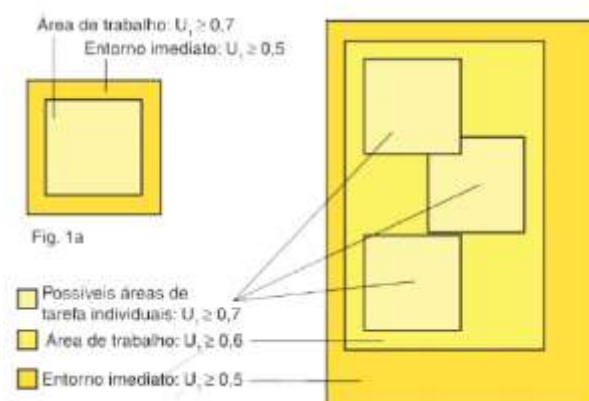
Figura 29 – Área de tarefa (amarelo) e espaço do usuário (rosa)



Fonte: adaptado de ABNT, 2013a.

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013a) recomenda os valores de iluminância mantida (E_m) sobre a área de tarefa no plano de referência que pode ser horizontal, vertical ou inclinado. A norma também indica que deve existir uma relação entre a iluminância da área de tarefa e a iluminância no entorno imediato dessa área, pois as mudanças muito bruscas de iluminâncias podem levar ao desconforto visual do usuário. Para ambientes de escritório com estações de projeto assistidas por computador, a iluminância mantida (E_m) é de 500 lux, enquanto a iluminância mantida no entorno (E_m) é de 300 lux. Esses valores devem atender ao requisito de uniformidade (U), que é calculado a partir da razão entre o valor mínimo e o valor médio de iluminância de cada zona. As razões são calculadas de forma distinta, sendo que a área de tarefa deve atender à razão mínima de 0,7 e seu entorno imediato, à razão mínima de 0,5 (Figura 30).

Figura 30 – Valores mínimos de uniformidade em um escritório



Fonte: adaptado de ABNT, 2013a.

O ofuscamento é uma sensação visual experimentada quando áreas brilhantes dentro do campo de visão refletem a luz. Essas superfícies podem provocar ofuscamento desconfortável¹²¹ ou ofuscamento incapacitante¹²². O ofuscamento pode ser causado também por superfícies especulares, quando ocorre então o chamado ofuscamento refletido ou indireto¹²³. Por isso, para medir o ofuscamento de uma forma padronizada, foi definida pela CIE a unidade de *índice de ofuscamento unificado* (UGR). Em escritórios que utilizam computadores como ferramenta de trabalho, o limite de UGR_L é 19, o qual pode ser calculado empregando-se programas computacionais de cálculo luminotécnico, recebido pelos fornecedores das luminárias ou calculado manualmente. Além disso, outras recomendações são sugeridas pela norma para se evitar o ofuscamento refletido em ambientes de trabalho, como a proteção visual e a definição dos limites de luminância das luminárias. As luminâncias¹²⁴ não podem exceder ângulos de elevação maior que 65° a partir de uma vertical descendente em qualquer plano de radiação, em relação a uma tela inclinada em até 15° (Figura 31) (ABNT, 2013a).

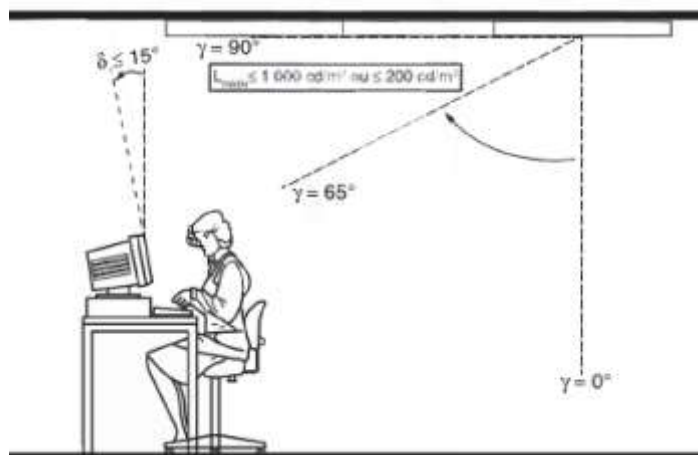
¹²¹ O ofuscamento desconfortável é causado quando a sensação causada pela luz refletida de uma superfície causa a sensação de desconforto visual no observador, contudo o observador ainda é capaz de enxergar (STEFFY, 2008).

¹²² O ofuscamento incapacitante é causado quando a luz refletida de uma superfície é intensa o suficiente para que o observador fique visualmente impossibilitado (DILAURA et al., 2011)

¹²³ O ofuscamento refletido ou as reflexões veladoras são o ofuscamento causado por superfícies de tarefa brilhantes, como monitores de computador, televisões, ruas molhadas, etc. (DILAURA et al., 2011).

¹²⁴ Na norma brasileira, as recomendações em relação a qualidade das telas do computador são baseadas também na ISO 9241-7 (2000). Entretanto, ela somente limita a luminância da luminária para as telas Tipo I e Tipo II em $\leq 1000\text{cd/m}^2$ e não menciona uma Em no plano de trabalho.

Figura 31 – Zona crítica de radiação para luminância de luminária que pode causar brilho refletido em uma tela



Fonte: adaptado de ABNT, 2013a.

Como relatado anteriormente, as recomendações de projeto de iluminação do *The Lighting Handbook: Reference and Application* da IES são mais específicas em relação às tarefas realizadas em escritórios que utilizam computadores como ferramenta de trabalho, sugerindo uma iluminância mantida de 300 lux. Dado que o objetivo desse trabalho é o de analisar o processo de projeto luminotécnico convencional que atende às legislações vigentes no contexto brasileiro, a iluminância mantida (E_m) considerada para o projeto luminotécnico foi de 500 lux, enquanto a iluminância mantida no entorno (E_m) foi de 300 lux. Portanto, entre essas recomendações e legislações de iluminação elétrica, a norma nacional – ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior (ABNT, 2013a) foi utilizada como base para desenvolver o projeto luminotécnico do escritório hipotético, considerando todas as recomendações para a execução de tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto.

3.5 Simulação computacional como ferramenta no processo de projeto de iluminação

A simulação computacional está indicada como uma ferramenta na macrofase de projeção, sendo caracterizada como parte do processo de anteprojeto (BANDEIRA, 2018, p. 98). Ela permite ponderar sobre o impacto da qualidade ambiental do projeto, sendo que a maior parte foi desenvolvida para um objetivo específico de auxiliar o projetista na otimização de parâmetros prioritários. Essa é uma ferramenta que permite que sejam realizados estudos quantitativos e

qualitativos da luz, possibilitando rápidas alterações até ser encontrada uma solução satisfatória de projeto (GROAT; WANG, 2013). Isso só é possível porque, além dos resultados numéricos gerados pelos cálculos de luminância e iluminância (quantitativos), essa ferramenta permite uma visualização fotorrealística (qualitativa) do ambiente antes de o espaço ser executado fisicamente. Tanto para DiLaura et al. (2011) quanto para Innes (2014), a simulação computacional é uma ferramenta que faz parte do processo de projeto, auxiliando o projetista a prever o desempenho do projeto de iluminação, a fim de que seja possível avaliá-lo de acordo com normas e regulamentações o que favorece a comparação de alternativas de projeto.

A simulação computacional foi utilizada no estudo de caso desta dissertação como ferramenta para a criação de um espaço iluminado hipotético, pois possibilitou conceber um meio controlável para traçar uma comparação entre os procedimentos de cálculo (numérico) e os resultados dos projetos gerados (visual) pela utilização das recomendações das métricas circadianas para projeto de iluminação integrativa. A escolha da simulação computacional está relacionada às técnicas e aos procedimentos utilizados no processo de projeto de iluminação contemporâneos, já identificados na seção 3.2.

3.5.1 Ferramentas de simulação computacional para projeto de iluminação

Mundialmente, programas de simulação com o foco no desenvolvimento do projeto de iluminação foram desenvolvidos e aprimorados com a evolução rápida da tecnologia dos computadores, sendo os mais conhecidos o AGI32¹²⁵, o RELUX¹²⁶ e o DIALux.

O programa de simulação computacional de iluminação elétrica DIALux evo¹²⁷ atua no planejamento, cálculo e visualização de iluminação de interiores e

¹²⁵ O AGI 32 é o programa de simulação computacional mais utilizado nos EUA (STEFFY, 2008) e foi desenvolvido pela empresa *Lighting Analysts* (<https://lightinganalysts.com/>). O programa só é disponibilizado mediante uma assinatura anual.

¹²⁶ O RELUX é um programa de simulação computacional desenvolvido pela empresa RELUX Informatik, localizada na Alemanha.

¹²⁷ DIALux evo é um programa de simulação computacional de iluminação desenvolvido pela empresa alemã DIAL GmbH. A versão utilizada nesta dissertação foi a de número 8 (Patch 3), lançada em 20 de junho de 2018 (DIAL GMBH, 2018b). O programa foi avaliado e validado pelo laboratório da DIAL conforme as determinações da metodologia de validação da CIE 171: 2006 - *Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs*, segundo o relatório

exteriores e é o mais citado em pesquisa de Bandeira (2018). Escritórios de *Lighting Design* brasileiros participaram de quatro estudos de caso distintos: em três deles seus responsáveis revelaram utilizar o *DIALux evo* como ferramenta auxiliar no processo de projeto¹²⁸ (BANDEIRA, 2018). Além disso, o programa conta com uma comunidade de usuários em diversos países e está disponível em 25 línguas de forma gratuita, sendo um dos mais populares (DIAL GMBH, 2018a). Por essa aproximação com a realidade dos escritórios de projeto de iluminação nacionais, o *DIALux evo 8* foi o programa escolhido para realizar a simulação de iluminação natural e elétrica do escritório hipotético, base do estudo de caso desta dissertação.

3.5.1.1 Método de cálculo da simulação computacional da ferramenta

O *DIALux evo* utiliza o método de cálculo chamado *Photon Shooting*¹²⁹, o qual é uma adaptação do cálculo de radiosidade¹³⁰, que leva em consideração a teoria de transferência de fluxo radioativo entre superfícies. Nesse método de cálculo, a luz no ambiente é distribuída nas superfícies visíveis, utilizando o fóton como unidade de medida. Os fótons são emitidos difusamente, transmitidos ou absorvidos dependendo das propriedades dos materiais do ambiente simulado. Assim, os fótons são aglomerados nas superfícies afetadas, e uma avaliação da densidade é realizada. Com isso, a partir do número de fótons por área de superfície e de seu conteúdo energético, a luminância ou a iluminância são determinadas (WITZEL, 2012).

O relatório "*DIALux evo – new calculation method*" (WITZEL, 2012) atesta que o programa fornece resultados com alta precisão, superando o enfrentamento com procedimentos de testes padronizados, como o realizado com o CIE 171:2006. No

DIALux evo – new calculation method, nas primeiras versões do programa (WITZEL, 2012). Além disso, o programa conta com uma declaração de conformidade de acordo com a ISO/IEC 17050-1 (DIAL GMBH, 2014).

¹²⁸ BANDEIRA (2018), em dissertação intitulada *Processo de Projeto em Iluminação: aspectos conceituais e prática profissional*, realizou quatro estudos de caso em escritórios que trabalham com *Lighting Design* no mercado brasileiro. Desses quatro estudos de caso, somente um relatou utilizar o software AGI32 da empresa Lighting Analysts (<https://lightinganalysts.com/>).

¹²⁹ Disparo de Fótons. Tradução livre da autora.

¹³⁰ A radiosidade é um método de cálculo em simulações computacionais que aplica a teoria de transferência de fluxo radioativo. O cálculo da iluminância leva em consideração a inter-reflexão do fluxo de luz das superfícies do ambiente simulado, com base na transferência média de fluxo entre elas (IES, 2018; PUPO; SCARAZZATO; DELBIN, 2007). Com esse método, a troca de energia entre cada superfície na cena é calculada. Portanto, as superfícies são divididas individualmente em fragmentos para a visualização da distribuição exata da luz (PUPO; SCARAZZATO; DELBIN, 2007; WITZEL, 2012).

entanto, alerta que, em determinadas condições, o resultado poderá apresentar distorções em relação à realidade, como as regras da distância fotométrica não se aplicarem em campos eletromagnéticos próximos da sua origem de emissão¹³¹; o fato de o material utilizado no modelo ser muito simplificado, mesmo que a refletância, o índice de refração e transmissão sejam adicionados a modelos anteriores; o número de fótons utilizado na simulação ser limitado pela capacidade de armazenamento disponível e o tempo de cálculo. Além disso, o relatório ressalta que as situações simuladas com os programas computacionais representam um modelo simplificado da realidade física e não fornecem a precisão total de cálculo¹³², como qualquer processo de simulação.

3.5.2 Simulação computacional de iluminação natural

A época do ano e a localização geográfica onde está inserida a edificação são determinantes para o estudo da iluminação natural, pois, por causa desses fatores, o ciclo claro/escuro varia, não sendo recomendado realizar a simulação em um único dia, principalmente se o foco do projeto for a simulação de aspectos não visuais da iluminação. A avaliação de iluminação natural não apresenta um dia típico para simulações computacionais, sendo necessário utilizar dias com características especiais de fotoperíodo. O solstício de verão no hemisfério sul e abaixo do Trópico de Capricórnio¹³³, onde se localiza a cidade de Porto Alegre, ocorre no dia 21 de dezembro, quando o fotoperíodo apresenta um ciclo claro com maior número de horas em relação ao escuro¹³⁴. Já no solstício de inverno, que ocorre no dia 21 de junho, o fotoperíodo apresenta um ciclo escuro com um maior número de horas do que o claro¹³⁵. Por fim, os equinócios (21 de março e 21 de setembro) apresentam um fotoperíodo com um número de horas dividido igualmente entre o

¹³¹ *Near-fields*. De acordo com *Cambridge Dictionary* (2018), a expressão é relacionada à habilidade de dispositivos eletrônicos que emitem ondas eletromagnéticas de enviar e receber informações em distâncias curtas, geralmente entre dois ou três centímetros.

¹³² Um resultado com 100% de precisão não é possível.

¹³³ O Trópico de Capricórnio é uma linha imaginária situada ao sul da linha do Equador e é definido como um paralelo. Climaticamente, ele divide a zona de clima tropical da zona de clima temperado.

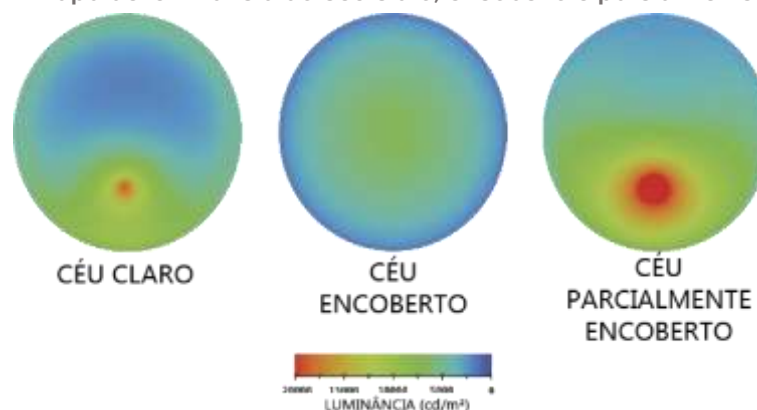
¹³⁴ Aproximadamente 14 horas de duração do período claro em Porto Alegre.

¹³⁵ Aproximadamente 10 horas de duração do período claro em Porto Alegre.

ciclo claro e escuro¹³⁶ (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 115). Por isso, nesta dissertação foi definido que se realizaria a simulação nos dias do solstício de verão, do solstício de inverno e do equinócio de primavera, em Porto Alegre (30° 01' 59" S / 51° 13' 48" W).

Outro fator a se determinar em uma simulação para iluminação natural é o tipo de céu desejado para a condução do experimento. A ABNT NBR 15215 -2 (ABNT, 2005b) classifica o céu em três tipos - o céu claro, o parcialmente encoberto e o céu encoberto –, baseados em céus padrões da CIE 110 (CIE, 1994) (Figura 32). Em alguns programas que realizam simulações de acordo com arquivos climáticos, padrões mais complexos definidos também pela CIE¹³⁷, conhecidos como céus de Perez, são utilizados (DILAURA et al., 2011).

Figura 32 - Mapa de luminância do céu claro, encoberto e parcialmente encoberto



Fonte: adaptado de DILAURA et al., 2011

Para a legislação nacional e para os céus padrões da CIE, o céu claro tem a luminância mais alta na área ao redor do sol (circunsolar), sendo visível no mapa de luminâncias para uma altitude de 50°. Na área diretamente oposta ao sol, um céu claro tem uma luminância relativamente baixa, sendo que o céu é mais brilhante perto do horizonte devido à dispersão de partículas. O céu encoberto, por sua vez, é azimutalmente simétrico, sendo quase três vezes mais brilhante no zênite¹³⁸ do que no horizonte e mais brilhoso que um céu claro na direção voltada ao sol, sendo totalmente bloqueado para uma altitude de 50°. Por fim, um céu parcialmente

¹³⁶ Aproximadamente 12 horas de duração do período claro e escuro em Porto Alegre.

¹³⁷ CIE S011/E:2004. Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky (2004).

¹³⁸ O ponto em que a vertical de um lugar encontra a esfera celeste acima do horizonte. Opõe-se a nadir. (MICHAELIS, 2020).

nublado tem uma luminância relativamente alta em todas as direções, com uma região circumsolar brilhante ampla e um firmamento no qual as luminâncias representam uma fina camada de nuvens altas (ABNT, 2005b; CIE, 1994).

Existem programas que realizam as simulações específicas de avaliação de iluminação natural, como o *DIVA for Rhino* da *Solemnia*¹³⁹. No entanto, o *DIVA* apresenta um método de cálculo de reflexão, o *Radiance/DAYSIM*, que é diferente do empregado pelo *DIALux evo*¹⁴⁰, o *Photon Shooting*. Além dessa diferença, o *DIVA for Rhino* utiliza o céu de Perez a partir da variação de arquivos climáticos (SOLEMMA LLC, 2020), enquanto o *DIALux evo* utiliza os padrões de céu determinados pela CIE 110 (CIE, 1994). Isso significa que não seria adequado comparar resultados de simulação, pois as ferramentas não possuem a mesma interface e metodologia de cálculo, podendo causar distorções nos resultados de iluminância e, conseqüentemente, nos valores gerados pelas calculadoras circadianas. Portanto, nesta dissertação foram realizadas as simulações computacionais para a iluminação natural do estudo de caso no *DIALux evo*, escolhendo manter uma mesma metodologia de cálculo para a avaliação da iluminação natural e elétrica.

3.5.3 Simulação computacional de iluminação elétrica

Na simulação computacional de iluminação elétrica do *DIALux evo*, o *Photon Shooting* realiza seu método de cálculo a partir das informações inseridas de luminárias e suas lâmpadas através de um arquivo de extensão IES (padrão norte-americano), Eulummdat (padrão europeu) e CIBSE (padrão britânico) e dos dados de reflexão dos materiais do ambiente (%). Os arquivos contêm informações conjuntas tanto do diagrama polar de intensidade¹⁴¹, demonstrando o comportamento de distribuição de luz a partir da luminária, quanto da fonte de luz (lâmpada), que informa o fluxo luminoso (lm), a potência (W), a temperatura de cor

¹³⁹ "O *DIVA-for-Rhino* é um plugin (um programa instalado em outro programa de interface) de modelagem e simulação para avaliação de luz diurna e eficiência energética para o *Rhinoceros* (programa de modelagem virtual), que permite que os usuários realizem uma série de avaliações de desempenho ambiental de edifícios individuais e paisagens urbanas, incluindo mapas de radiação, renderizações fotorrealistas, métricas de luz do dia baseadas no clima, análise de ofuscamento anual e individual por etapa do tempo, conformidade com LEED e cálculos de energia e carga de zona térmica única." (SOLEMMA LLC, 2020)

¹⁴⁰ O *DIALux* utiliza para as suas simulações de iluminação natural os três tipos de céu padrão determinados pela CIE 110-1994 (DIAL GMBH, 2017).

¹⁴¹ O diagrama polar de intensidade é um gráfico que demonstra como a luminária distribui a luz a partir da fonte luminosa (INNES, 2014)

correlata (TCC), o índice de reprodução de cor (IRC) e a relação de saída de luz (%)¹⁴²(DIAL GMBH, 2016). O programa apresenta DEPs padrão, os quais podem ser editados, contudo não é possível inserir as informações de DEP da fonte luminosa, não sendo, portanto, a ferramenta mais adequada para o planejamento de iluminação integrativa, uma vez que não realiza a conversão direta em unidades circadianas. Portanto, o programa auxilia na captação das iluminâncias verticais e horizontais e no ofuscamento através dos objetos de cálculo inseridos no ambiente, sendo necessária a conversão dessas unidades em unidades circadianas a partir das ferramentas de cálculo por elas disponibilizadas (CHAVES; MARTAU, 2019).

3.5.2 Integração entre simulação de iluminação natural e iluminação elétrica

Apesar dos avanços tecnológicos em relação à simulação computacional, ainda se enfrenta uma grande dificuldade em relação à integração de programas com diferentes propósitos de análise e os processos de desenvolvimento de projetos (CLARKE; HENSEN, 2015). Os projetos de iluminação com foco no usuário, integrando iluminação natural e elétrica, além das estratégias para a manutenção de um ambiente com conforto visual, adequado para não prejudicar a saúde e poupando energia elétrica, deve levar em consideração o seu comportamento e preferências de iluminação no ambiente (GENTILE et al., 2019). É necessário o desenvolvimento de ferramentas adequadas para o processo de projeto de maneira que agreguem valor e, a longo prazo, possam dar a oportunidade de testar soluções de desempenho em tempo real ao longo do dia e não de forma estática, de hora em hora (CLARKE; HENSEN, 2015). Levando em consideração todas as questões apresentadas, está em curso até o momento um estudo pela *International Energy Agency* (IEA)¹⁴³ para discutir soluções para a integração da iluminação natural e da iluminação elétrica no grupo *Task 61 - Integrated Solutions for Daylighting and Electric Lighting*(IEA, 2019).

O *DIALux evo*, que não é um programa dinâmico, realiza simulações de iluminação natural e elétrica ao mesmo tempo (DIAL GMBH, 2018a). Entretanto,

¹⁴² Essa relação demonstra a porcentagem de luz que efetivamente a luminária emite no ambiente.

¹⁴³ É uma organização anônima fundada em 1973, após a crise do petróleo, com o intuito de analisar questões de energia, como oferta e demanda de petróleo, gás e carvão, tecnologias de energia renovável, mercados de eletricidade, eficiência energética, acesso à energia, gerenciamento do lado da demanda e outras matérias relacionadas. Por meio de seu trabalho, a AIE defende políticas que aumentem a confiabilidade, a acessibilidade e a sustentabilidade da energia em seus 30 países membros (o Brasil participa desse grupo desde 2017).

determinou-se que as simulações fossem realizadas de forma individual, pois não seria possível converter as iluminâncias em uma das unidades circadianas¹⁴⁴, já que é necessária a utilização da *distribuição espectral de potência radiante* (DEP) da fonte de luz, como será esclarecido no capítulo 4. Quando duas fontes de luz emitem seus espectros ao mesmo tempo, eles podem sofrer o processo de *metamerismo*, gerando um DEP diferente (DILAURA et al., 2011, p. 6.7). Atualmente, não se dispõe da ferramenta adequada para o cálculo do DEP resultante. Em razão disso, mesmo com a possibilidade de se realizar a simulação computacional integrada, estabeleceu-se que suas análises fossem realizadas de forma individual, a fim de ser possível avaliar o impacto das duas fontes (natural e elétrica) individualmente nas métricas circadianas.

¹⁴⁴ A unidade circadiana é o EML (Equivalent Melanopic Lux), que será definida no capítulo 4.



ASID – ESCRITÓRIO QUE UTILIZA O PROJETO DE ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA / FOTO: PERKINS + WILL

4. PROJETOS DE ILUMINAÇÃO INTEGRATIVA

As métricas fotópicas já existentes, por serem baseadas no impacto do sistema visual humano, utilizam a *sensibilidade da função fotópica* ($V(\lambda)$), que não constitui a métrica mais adequada para medir o impacto da luz no funcionamento do sistema circadiano. Por isso, nos últimos anos, *funções de sensibilidade espectral para o sistema não visual humano* foram desenvolvidas e, a partir disso, novas métricas estão sendo discutidas.

Diferentes termos existem para se referir à iluminação planejada para o sistema não visual humano, como “Human Centric Lighting (HCL)”, “circadian lighting”, e “biodinamic lighting”. Entretanto, a CIE definiu que “integrative lighting” (iluminação integrativa) é o termo oficial para a iluminação que tem como objetivo integrar os efeitos visuais e não visuais, produzindo efeitos psicológicos e fisiológicos nos seres humanos.

Este capítulo aborda o desenvolvimento das novas funções de sensibilidade espectral circadianas e duas novas métricas propostas a partir delas: o lux melanópico equivalente (EML) e o estímulo circadiano (CS).

4.1 Funções de sensibilidade espectral relacionadas ao sistema circadiano

Utilizadas como a base para o desenvolvimento de novas métricas, as funções de sensibilidade espectral foram sendo estudadas e desenvolvidas logo após a identificação do fotorreceptor ipRGC em 2002. As funções de sensibilidade espectral circadiana foram sendo construídas ao longo da última década, baseadas em conceitos distintos sobre a composição da relação entre o sistema circadiano e o sistema visual humano, sendo o principal foco da discussão do desenvolvimento de métricas circadianas. Suas variações e conceitos têm influência direta na elaboração das métricas circadianas, demandando valores de iluminâncias diferentes e gerando, portanto, projetos de iluminação com diferentes necessidades de aplicação em projeto de espectros, intensidades e duração.

As funções de sensibilidade espectral apresentadas estão em ordem de publicação, sendo essas as mais relevantes no âmbito acadêmico desde a descoberta do fotorreceptor ipRGC. Através delas, podemos perceber a evolução do pensamento de construção dessas funções e de suas métricas ao longo dessas duas últimas décadas.

4.1.1 Função *estímulo circadiano* (CS) / *luz circadiana* (CL_A)

Em 2005, Rea et al. apresentaram um “*modelo hipotético da fototransdução*¹⁴⁵ *do sistema circadiano que é consistente com a neuroanatomia*¹⁴⁶ *e fisiologia*¹⁴⁷ *do sistema visual humano e sistema circadiano*”. Esse modelo foi traduzido em uma função matemática, a qual foi chamada de função de *estímulo circadiano* (CS)¹⁴⁸ (REA et al., 2005, 2007). Na proposta demonstrada no artigo, os autores iniciam

¹⁴⁵ A fototransdução do sistema circadiano é a hipótese de funcionamento dos fotorreceptores da retina e todo o processo com o NSQ no sistema circadiano. Isso é o ponto mais relevante na criação de uma nova métrica, pois dependendo de como os fotorreceptores se influenciam, o cálculo da sensibilidade espectral irá variar.

¹⁴⁶ A neuroanatomia é “uma especialidade da ciência responsável pelo estudo de estruturas anatômicas complexas do Sistema Nervoso Central e Sistema Nervoso Periférico” (MICHAELIS, 2020).

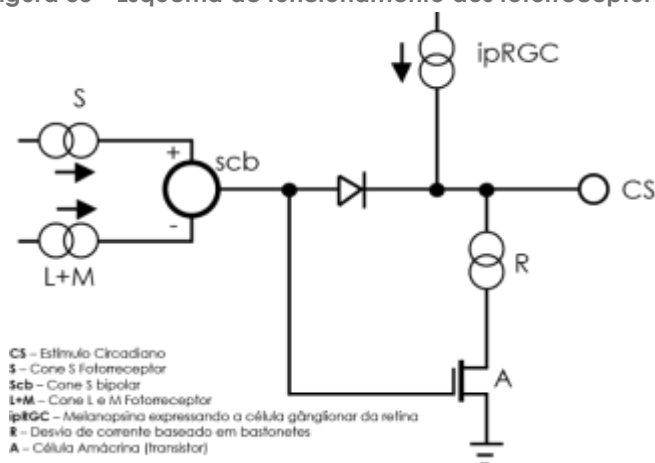
¹⁴⁷ A fisiologia é “a ciência biológica que estuda as funções e o funcionamento normal dos seres vivos e, em geral, os processos físico-químicos que ocorrem nas atividades vitais” (MICHAELIS, 2020).

¹⁴⁸ Da tradução livre da autora de: *Circadian Stimulus* (CS). Esse termo foi substituído posteriormente por Luz Circadiana (CL) (REA et al., 2010).

apresentando estudos relacionados à neuroanatomia, à eletrofisiologia¹⁴⁹ e à psicofísica¹⁵⁰, selecionando os argumentos necessários para justificar os procedimentos realizados na construção da função matemática.

Esse modelo matemático considera que, além do ipRGC, os cones (L, M e S) e os bastonetes têm influência direta na resposta do ser humano à luz, não só em relação à transmissão dos impulsos para o sistema visual, mas também em relação à influência que exerce em seu sistema circadiano. Ele se diferencia do modelo desenvolvido por Gall e Bieske (2004), que definiram a sua função somente a partir da média dos valores encontrados entre a sensibilidade espectral relativa e os comprimentos de onda do espectro visível dos estudos de Brainard et al. (2001) e Thapan (2001). Rea et al. (2005, 2007) propõem um modelo de funcionamento dos fotorreceptores na absorção da luz no sistema circadiano humano (Figura 33).

Figura 33 - Esquema de funcionamento dos fotorreceptores



Fonte: adaptado de REA et al., 2005.

Os seres humanos têm um sistema robusto de percepção das cores, portanto os autores argumentam que *um modelo de fototransdução circadiana humana deve levar em consideração a complexidade desse sistema*. Por essa razão, nesse modelo de funcionamento, eles consideram que os cones e os bastonetes têm grande influência no envio de sinais do ipRGC para o NSQ. Apesar dos ipRGC serem

¹⁴⁹ A eletrofisiologia é a especialidade da ciência responsável pelo estudo das propriedades elétricas das células vivas e o seu funcionamento (MICHAELIS, 2020).

¹⁵⁰ A psicofísica é um ramo da ciência, mais especificamente da psicologia, que estuda a relação entre estímulos físicos e do ambiente e as suas respostas em padrões de sensação e comportamento (MICHAELIS, 2020).

excitados em um comprimento de onda mais curto que os *bastonetes* (visão escotópica), os sinais desse fotorreceptor não são enviados ao *núcleo supraquiasmático* (NSQ) até que essa excitação exceda a inibição dos *bastonetes através do desvio de conexões de células amácrinas* inibitórias¹⁵¹. Essas células funcionam como um transistor¹⁵² que, à medida que os níveis de luz aumentam, faz com que a resposta dos *bastonetes* comece a saturar, reduzindo a inibição da rede até que a excitação dos ipRGC excedam essa inibição. Os cones, igualmente, têm uma importância na liberação dos sinais do ipRGC para o NSQ. Enquanto o cone S (comprimento de onda azul) tem uma resposta despolarizante¹⁵³ (ON) para 440nm, os cones L e M tem uma hiperpolarização¹⁵⁴ (OFF) quando somados. Quando o cone S bipolar é ativado com o comprimento de onda curto azul (cone S), ele envia sinais de despolarização (ON) para o ipRGC. Já os sinais de hiperpolarização (OFF) indicam às células amácrinas a liberação da resposta de saturação dos *bastonetes*. Assim, o ponto de cruzamento espectral, por volta de 500 nm, é extremamente importante, pois espera-se que o ipRGC esteja completamente livre da inibição dos *bastonetes* e seja capaz de expressar diretamente a sua fotossensibilidade à luz ao NSQ (REA et al., 2005, p. 218, 219). Dessa forma, os autores definiram o modelo matemático (1 e 2) que prevê como o sistema em sua totalidade responde a esses estímulos¹⁵⁵.

$$CS = [(a_1 \int M_\lambda P_\lambda d\lambda - b_1) \wedge a_2 x (\int S_\lambda P_\lambda d\lambda - k \int V_{10\lambda} P_\lambda d\lambda) - b_2] - a_3 \left(1 - e^{-\frac{\int V_\lambda P_\lambda d\lambda}{\text{rodsat}}}\right) \quad (1)$$

$$\text{para } \int S_\lambda P_\lambda d\lambda - k \int V_{10\lambda} P_\lambda d\lambda \geq 0$$

$$CS = a_1 \int M_\lambda P_\lambda d\lambda - b_1 \quad (2)$$

$$\text{para } \int S_\lambda P_\lambda d\lambda - k \int V_{10\lambda} P_\lambda d\lambda < 0$$

¹⁵¹ As células amácrinas inibitórias são células da retina, localizadas na camada nuclear interna, que têm ligações diretas com as células ganglionares como o ipRGC (Figura 6 – Camadas da retina).

¹⁵² Transistor é um dispositivo semicondutor em circuitos eletrônicos, que tem a finalidade de controlar a variação da corrente elétrica num circuito eletrônico de determinado equipamento (MICHAELIS, 2020).

¹⁵³ Despolarização é quando se faz cessar a potência contínua enviada a um transistor para controle de seu funcionamento em determinada área (MICHAELIS, 2020).

¹⁵⁴ Hiperpolarização é o fenômeno, estado ou condição de sensível elevação da diferença entre o potencial do meio interno e o do meio externo de uma membrana biológica, de uma fibra nervosa, de uma célula etc., o que resulta na necessidade de aumentar os estímulos capazes de provocar algum tipo de resposta (MICHAELIS, 2020).

¹⁵⁵ As fórmulas apresentadas aqui foram atualizadas em uma correção em 2007 (REA et al., 2007)

Onde:

\triangleleft é um diodo operador matemático

M_λ é a eficiência espectral do ipRGC com pico em 480nm

$V_{10\lambda}$ é a função espectral de eficiência dos cones L+M

V_λ é a função de eficiência espectral dos bastonetes

S_λ é a função de eficiência espectral do cone S

P_λ é a irradiância espectral no olho ($W/m^2/nm$), representando as interações entre os tipos de fotorreceptores

Parâmetros:

$k=0,31$

$a1 = 0,285$

$a2 = 0,2$

$a3 = 0,72$

Constantes representando os limiares e as características dinâmicas dos tipos de fotorreceptores

$b1 = 0,01$

$b2 = 0,001$

$rodSat$ (saturação do cone) = 6,5

CS é o estímulo circadiano em unidades de irradiância (W/m^2)

Pela estrutura neurofisiológica apresentada, os bastonetes não somente definem o limiar absoluto para sensibilidade à luz, como também afetariam indiretamente a sensibilidade espectral da fototransdução circadiana. O modelo propõe uma redução da sensibilidade geral à luz pelo sistema circadiano, aumentando também a sensibilidade espectral (REA et al., 2005, p. 219). A função do estímulo circadiano (CS) tem seu pico de sensibilidade espectral em 460 nm, sendo, portanto, mais sensível que a função espectral proposta por Gall e Bieske (2004), que tem seu pico de sensibilidade em 464 nm.

Ressalta-se que o termo “estímulo circadiano” (CS) é substituído pelo termo “luz circadiana” (CL_A) no artigo *Circadian light*, de Rea, Figueiro, Bierman e Bullough em 2010 (REA et al., 2010, p. 6). Desse modo, a partir dessa data, “luz circadiana” (CL_A) é o termo que se refere à irradiância¹⁵⁶ espectralmente ponderada para o sistema circadiano humano, um termo mais comparável à iluminância. O termo “estímulo circadiano” (CS) será utilizado em artigo de Rea e Figueiro (2018) como a principal métrica dessa sensibilidade espectral.

Rea e Figueiro (2018) definem o conceito utilizado atualmente de Luz Circadiana (CL_A) como “a irradiância na córnea ponderada para refletir a sensibilidade espectral do sistema circadiano humano, medida pela supressão aguda da melatonina após uma hora de exposição à luz”, determinada pelas

¹⁵⁶ Irradiância é a quantidade de energia na forma de radiação eletromagnética que incide em uma superfície, real ou imaginária. Sua unidade é representada por Watt por metro quadrado ($W.m^{-2}$) (STEFFY, 2008).

funções de ponderação espectral para fontes de luz frias e quentes (REA et al., 2010; REA; FIGUEIRO, 2018).

Um modelo matemático (3) foi desenvolvido para traduzir como o sistema em sua totalidade responde aos estímulos externos, sendo que a CL_A foi derivada para dar a possibilidade de compará-la com maior facilidade à iluminância fotópica (lux).

$$CL_A = \begin{cases} 1548 \left[\int Mc_\lambda E_\lambda d\lambda + \left(a_{b-y} \left(\int \frac{S_\lambda}{mp_\lambda} E_\lambda d\lambda - k \int \frac{V_\lambda}{mp_\lambda} E_\lambda d\lambda \right) - a_{rod} \left(1 - e^{-\frac{\int V'_{\lambda} E_\lambda d\lambda}{RodSat}} \right) \right) \right] \\ \quad \text{se } \int \frac{S_\lambda}{mp_\lambda} E_\lambda d\lambda - k \int \frac{V_\lambda}{mp_\lambda} E_\lambda d\lambda > 0 \\ 1548 \int Mc_\lambda E_\lambda d\lambda \quad \text{se } \int \frac{S_\lambda}{mp_\lambda} E_\lambda d\lambda - k \int \frac{V_\lambda}{mp_\lambda} E_\lambda d\lambda \leq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Onde:

CL_A : Luz Circadiana. A constante, 1548 define a normalização de CL_A para que 1000 lux do corpo negro com 2856K de radiação seja equivalente a $CL_A=1000$

E_λ : distribuição da irradiância espectral da fonte de luz

Mc_λ : melanopsina (corrigida pela transmitância das lentes do cristalino)

S_λ : base Cone S

mp_λ : transmitância do pigmento macular

V_λ : função de eficiência luminosa fotópica

V'_λ : função de eficiência luminosa escotópica

$RodSat$: meia saturação constante para ativação dos bastonetes= $6,5W/m^2$

$k=0,2616$

$a_{b-y}=0,7000$

$a_{rod}=3,3000$

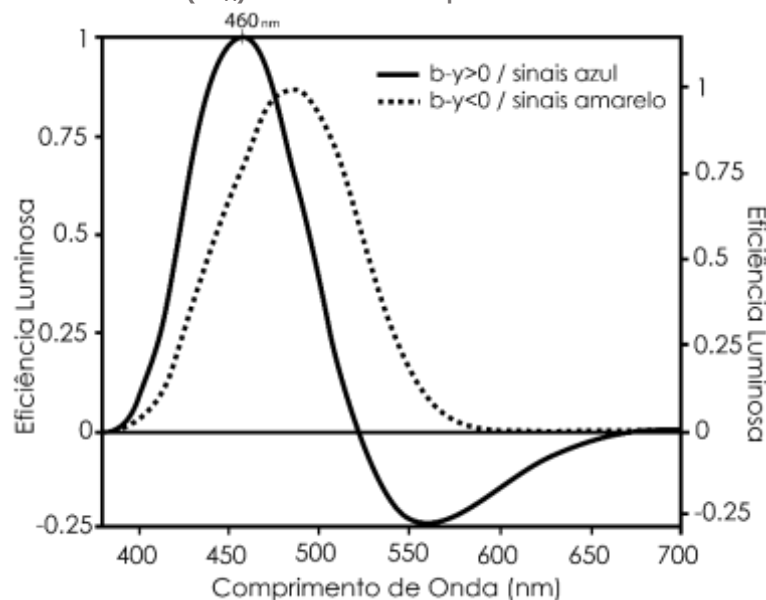
O padrão iluminante A^{157} do CIE foi utilizado como base para estabelecer uma relação entre as métricas. Portanto, se o valor de 1000 lx de um padrão iluminante A for medido verticalmente, ao se aplicar a fórmula desenvolvida, o resultado será um valor de 1000 CL_A unidades. A CL_A é numericamente similar ao *lux fotópico* quando o iluminante A produz 1000 lux, mas pode se diferenciar significativamente quando a distribuição espectral de potência radiante (DEP) e os valores de iluminâncias são alterados (REA et al., 2010, p. 7–8).

Por fim, na Figura 34 temos um gráfico no qual a CL_A é determinada pelas funções de ponderação espectral para fontes de luz com espectros que apresentam concentração de comprimentos de onda curtos ($b-y>0$ / azul) e longos ($b-y<0$ / amarelo). Nos espectros com concentração de comprimentos de onda curtos ($b-y>0$ / azul), a sensibilidade inicia aos 380 nm, chega a uma resposta de saturação da eficiência luminosa aos 460 nm e segue descendo até o limiar, alcançando uma

¹⁵⁷ O Padrão Iluminante A do CIE é um corpo negro radiante com uma temperatura de cor (TCC) de 2856K. Esse padrão tem a Distribuição Espectral de Potência Radiante (DEP) similar a uma lâmpada incandescente.

região subaditiva do espectro (530 nm) em que a potência espectral, a partir de uma fonte de luz, subtrai da resposta global do sistema (REA; FIGUEIRO, 2018).

Figura 34 –Luz Circadiana (CL_A): Sensibilidade espectral do sistema circadiano humano



Fonte: adaptado de REA e FIGUEIRO, 2018.

4.1.2 Função de Resposta Melanopsina [$Nz(\lambda)$]

Uma sequência de funções para representar matematicamente a sensibilidade à luz do ipRGC foi desenvolvida nos primeiros anos após a descoberta da Melanopsina do ipRGC, entre elas, a *função circadiana* [$c(\lambda)$] de Gall e Bieske (2004) e o *estímulo circadiano* [CS] de Rea et al. (2005). As funções desenvolvidas, com diferentes conceitos e calibrações, poderiam causar uma confusão nos parâmetros básicos para o desenvolvimento de uma nova métrica ou gerar uma sequência de métricas diferentes. Por isso, em 2014, cientistas e pesquisadores das áreas de medicina e de iluminação se reuniram para definir uma função padrão para os cones (S, L e M), os bastonetes e o ipRGC, unificando um conceito e criando uma regularização básica para estudos futuros, sendo um dos trabalhos desenvolvidos com maior impacto na iluminação nos últimos anos (LUCAS et al., 2013, 2014).

Os autores põem em evidência a importância e o impacto da iluminação na saúde dos seres humanos e afirmam que o progresso para o desenvolvimento dessa área depende de uma quantificação adequada da luz. Eles criticam o atual sistema de métricas, argumentando que

(...) dados demonstram que a fotometria estabelecida que utiliza a função espectral $V\lambda$ como base para a métrica, como o lux fotópico, são inadequadas para a quantificação de luz com a pretensão de regular os comportamentos não-visuais e fisiológicos.¹⁵⁸ (LUCAS et al., 2014).

Lucas et al. (2014) complementam ainda que a dificuldade da indústria em quantificar esses efeitos não visuais está na falta de uma métrica, pois *“o problema fundamental para sanar essa necessidade está da dificuldade de determinar uma função espectral (equivalente a $V\lambda$) adequada para respostas não visuais¹⁵⁹”*. Os autores consideram que o envio de sinais do ipRGC para o NSQ sofre influência combinada de todas as sensibilidades espectrais individuais de cada um dos fotorreceptores do olho humano [cones (s, l e m) e os bastonetes], guiando a fototransdução. Por isso, apresentam um modelo de funcionamento dos fotorreceptores na absorção da luz no sistema circadiano humano baseado nos princípios de neuroanatomia¹⁶⁰.

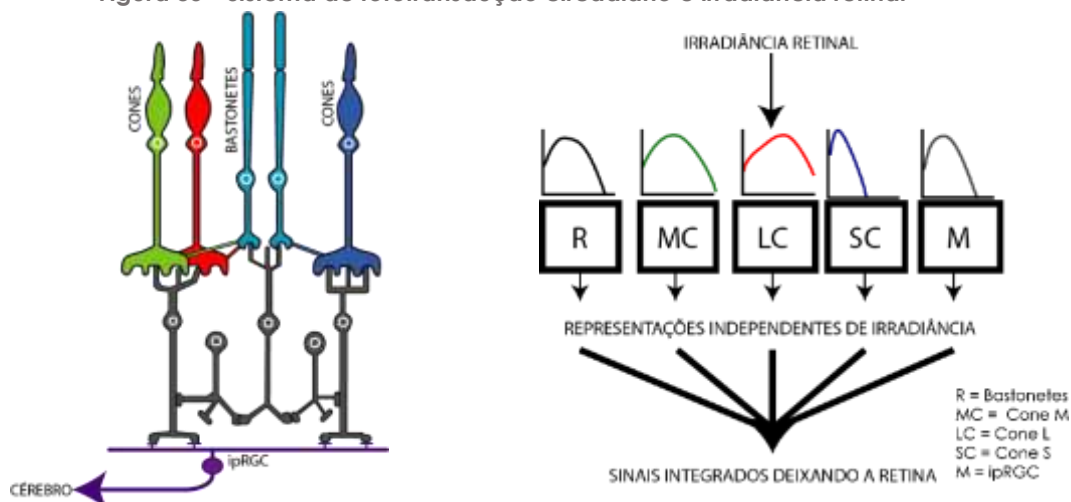
No modelo proposto, as células ipRGC são conectadas aos fotorreceptores através dos circuitos retiniais tradicionais. Essas células formam conexões com células bipolares, que as conectam com os cones e os bastonetes através das células amácrinas e das células bastonetes bipolares. Como consequência, *o envio dos sinais do ipRGC para o NSQ pode ser influenciado pela fotorrecepção inerente da melanopsina e dos sinais externos originados nos bastonetes e em cada uma das classes de fotorreceptores (Figura 35)*. Assim, *cada um dos fotorreceptores absorve a luz de acordo com seu próprio perfil de sensibilidade espectral, gerando uma métrica distinta de iluminância característica*.

¹⁵⁸ Da tradução livre da autora de: “(...) data demonstrate that established photometric light measures that use the $V\lambda$ spectral weighting function, such as photopic lux, are inadequate for quantifying light intended to regulate non-visual physiology and behavior” (LUCAS et al., 2014, p. 2).

¹⁵⁹ Da tradução livre da autora de: “The fundamental problem in addressing this need has been the difficulty in determining a spectral weighting function (equivalent to $V\lambda$) suitable for non-visual responses” (LUCAS et al., 2014, p. 2).

¹⁶⁰ Os princípios de neuroanatomia estão descritos no Capítulo 2 dessa dissertação.

Figura 35 - Sistema de fototransdução circadiano e irradiância retinal



Fonte: adaptado de LUCAS et al, 2014.

Provavelmente, pela contribuição de seus autores no artigo de Lucas et al. (2014), o modelo de funcionamento dos fotorreceptores na absorção da luz no sistema circadiano humano proposto se assemelha ao apresentado por Rea et al. (2005). Entretanto, no desenvolvimento de Lucas et al. (2014), *cada um desses mecanismos de detecção da luz tem sensibilidades espectrais distintas*, definidas pela eficiência espectral do fotorpigmento e das propriedades de transmissão pelos meios oculares.

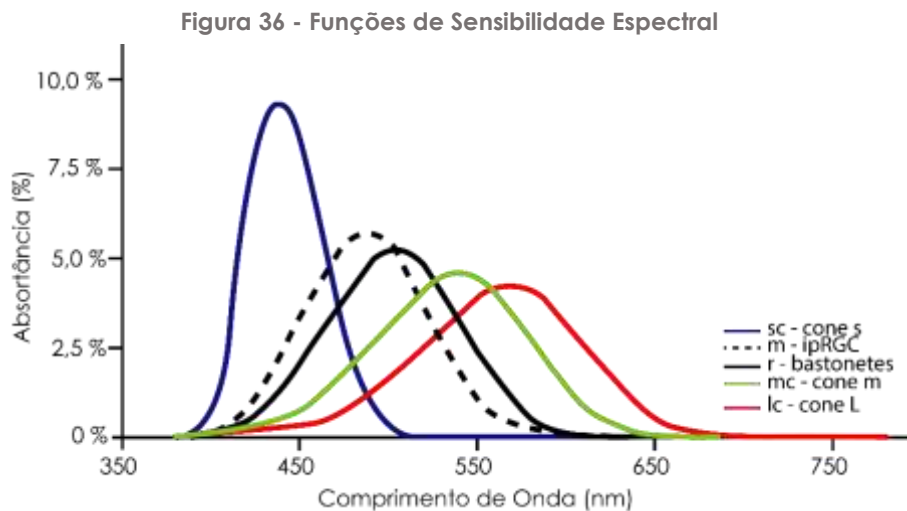
Os autores propõem que *cada fotorreceptor absorva a luz de acordo com seu próprio perfil de sensibilidade espectral, gerando uma medida distinta de iluminância*. Portanto, essas cinco sensibilidades são combinadas pelas conexões das células da retina, produzindo um sinal integrado que é encaminhado para o NSQ (Figura 35). Por essa razão, o artigo caracteriza de forma clara cada um dos fotorreceptores, seus fotorpigmentos, seus picos máximos de sensibilidade à luz (λ máx) e suas funcionalidades na visão humana (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização dos fotorreceptores do olho humano

Fotorreceptor	Cone - S	ipRGC	Bastonetes	Cone -M	Cone - L
Fotopigmento	Fotopsina – S <i>Cyanolabe</i> ¹⁶¹	Melanopsina	Rodopsina	Fotopsina – M <i>Chlorolabe</i>	Fotopsina – L <i>Erythrolabe</i>
Símbolo	SC	M	R	MC	LC
Pico Máximo de Sensibilidade (λ max)	~420nm	480nm	~500nm	~535nm	~565nm
Diurno/ Noturno	Diurna	----	Noturna	Diurna	Diurna
Cores / P&B	Azul	----	P&B	Verde	Vermelho
Função Espectral de Sensibilidade	<i>Cyanolabe</i> Função de Resposta $N_{sc}(\lambda)$	Melanopsina Função de Resposta $N_z(\lambda)$	Rodopsina Função de Resposta $N_r(\lambda)$	<i>Chlorolabe</i> Função de Resposta $N_{mc}(\lambda)$	<i>Erythrolabe</i> Função de Resposta $N_{lc}(\lambda)$
Unidade de Medida	Iluminância Cianópica (Lux Ciananópico)	Iluminância Melanópica (Lux Melanópico)	Iluminância Rodópica (Lux Rodópico)	Iluminância Clorópica (Lux Clorópico)	Iluminância Eriotrópica (Lux Eriotrópico)

Fonte: adaptado de LUCAS et al, 2013.

Cada uma das *funções espectrais de sensibilidade de cada fotorreceptor* é caracterizada (Figura 36), gerando unidades de medida individualizadas.



Fonte: adaptado de LUCAS et al, 2013.

¹⁶¹ Mantida as nomenclaturas dos pigmentos fotorreceptores em inglês, pois não foi encontrada nenhuma referência a esses nomes em português.

Essas unidades (E_α) são calculadas sobrepondo a *distribuição espectral de potência radiante da luz incidente* ($E_{e,\lambda}$) à *função espectral de sensibilidade* [$N_\alpha(\lambda)$] através da fórmula simplificada (4).

$$E_\alpha = 72983.25 \int E_{e,\lambda}(\lambda) N_\alpha(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

$E_{e,\lambda}(\lambda)$ é a *distribuição espectral de potência radiante da fonte de luz*; $N_\alpha(\lambda)$ é a *função espectral de sensibilidade definida pela sensibilidade espectral do fotorpigmento, ajustada com a filtragem pré-receptora em um observador padrão*¹⁶².

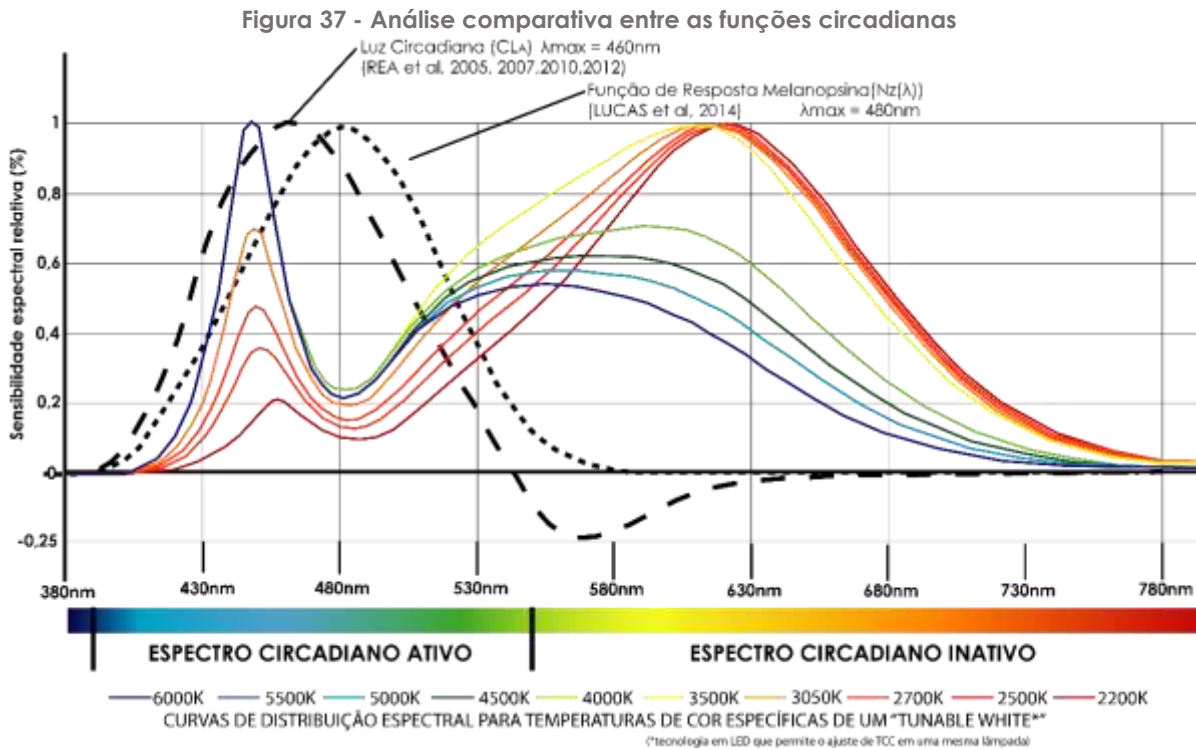
Essas novas unidades fotométricas são nomeadas como *iluminância equivalente*¹⁶³ α -*ópico lux*, sendo que o α é o que define cada fotorpigmento do olho humano. Portanto, temos: *lux ciananópico equivalente* (*sc-ópico lux*); *lux melanópico equivalente* (*z-ópico lux*); *lux rodópico equivalente* (*r-ópico lux*); *lux clorópico equivalente* (*mc-ópico lux*); e *lux eriotrópico equivalente* (*lc-ópico lux*). Isso permite que os valores se aproximem mais das unidades já utilizadas por pesquisadores e outros profissionais da iluminação acostumados com a iluminância (lux) (LUCAS et al., 2014).

4.1.3 Análise comparativa entre as funções circadianas propostas por Lucas et al. (2014) e Rea e Figueiro (2018)

A *função de resposta melanopsina* [$N_z(\lambda)$] (LUCAS et al., 2014) e *luz circadiana* (CL_A) (REA; FIGUEIRO, 2018) apresentam respostas diferentes em relação à sensibilidade à luz (Figura 37).

¹⁶² A filtragem pré-receptora é considerada a estrutura do olho humano de um observador padrão, sendo um indivíduo de 32 anos com a pupila não dilatada (LUCAS et al., 2013, p. 14).

¹⁶³ Lucas et al (2014) utilizam o termo “equivalente” para diferenciar sua métrica circadiana de outra desenvolvida anteriormente por Enezi et al.(2011) que tem uma função espectral de sensibilidade diferente.



Fonte: adaptado de CLARK e LESNIAK, 2017.

Enquanto a $Nz(\lambda)$ apresenta o pico máximo de sensibilidade na distribuição espectral de potência radiante (λ_{max}) da melanopsina (ipRGC) aos 480 nm, a CLA apresenta uma menor sensibilidade geral à luz considerando todo o sistema circadiano (cones, bastonetes, ipRGC, células amácrinas e NSQ) com o λ_{max} de 460 nm. O CLA apresenta uma maior sensibilidade na região do espectro circadiano ativo em relação à $Nz(\lambda)$. Portanto, isso indica que a fonte de luz tem que emitir um espectro de luz com uma maior concentração de comprimentos de onda azuis na região do espectro circadiano ativo para que se torne capaz de suprimir a melatonina (circadianamente ativa) para a CLA, comparando com a $Nz(\lambda)$.

4.2 Métricas circadianas

No momento existe uma discussão intensa sobre qual seria a métrica mais adequada e representativa do sistema circadiano para o desenvolvimento de projetos de iluminação (CLARK; LESNIAK, 2017; JACOBSEN, 2019). Enquanto o *lux melanópico equivalente* (*z-ópico lux*) está sendo utilizado e incorporado em projetos

de iluminação que buscam a certificação¹⁶⁴ *WELL Standard* (IWBI, 2020a), alguns pesquisadores contestam a utilização dessa métrica para iluminação integrativa e argumentam que a métrica é inadequada para esse propósito.

Em artigo publicado na revista on-line *Architectural Lighting Magazine*¹⁶⁵, Figueiro e Rea (2017, p. 2–3) argumentam que

as unidades fotométricas não foram estabelecidas para a função de eficiência luminosa, conseqüentemente a quantificação da luz em lux melanópico ainda tem que ser definida¹⁶⁶ [e que] qualquer métrica baseada exclusivamente na sensibilidade espectral da melanopsina será fundamentalmente imprecisa e incompleta como uma representação absoluta das sensibilidades espectrais do sistema circadiano humano¹⁶⁷.

Portanto, enquanto o lux melanópico equivalente (z-ópico lux) (LUCAS et al., 2014), a irradiância melanópica (PRICE et al., 2015) e o lux melanópico equivalente (EML) (IWBI, 2020b) baseiam as suas métricas exclusivamente na sensibilidade espectral do ipRGC (conseqüentemente no modelo de cálculo desenvolvido pela *WELL Standard*), o estímulo circadiano (CS) é uma curva de sensibilidade espectral que leva em consideração todo o sistema de fotorreceptores que compõem a retina. Por fim, Rea e Figueiro (2017) propõem o estímulo circadiano (CS) e a luz circadiana (CL_A) como um novo conceito de construção de métricas a ser utilizada em projetos de iluminação.

Baseado nesses novos conceitos de CS e CL_A, o *Underwriters Laboratories (UL)* liberou uma versão de uma norma denominada *UL RP 24480 – Diretrizes de prática e projeto recomendadas para promover a estimulação circadiana com luz para pessoas em atividades diurnas* (UL, 2019) para a consulta pública. Entretanto, a IES liberou a seguinte nota:

¹⁶⁴ A certificação para edificações é um selo de validação de uma série de recomendações que vão desde os aspectos construtivos, ergonômicos até os ambientais que uma edificação apresenta. Com isso, as edificações recebem uma classificação de atendimento aos requisitos básicos, intermediários ou superiores, definidos por suas regulamentações.

¹⁶⁵ O título do texto é "Quantifying Circadian Light and Its Impact".

¹⁶⁶ Da tradução livre da autora de: "*Photometric units have not been established for the luminous efficiency function. Consequently, quantifying light in terms of Melanopic lux has yet to be defined*". Essa afirmação ressalta que as unidades fotométricas atuais utilizam a função de sensibilidade espectral diurna ($V(\lambda)$) como base para o desenvolvimento da métrica. Como ainda não se tem uma conformidade do funcionamento do sistema circadiano, a métrica correta a partir da função de eficiência luminosa circadiana ainda tem que ser definida. Na prática, ainda estão experimentando modelos hipotéticos de como funcionam a sensibilidade espectral circadiana. Portanto, nenhuma métrica pode se afirmar como sendo a correta sem uma série de experimentações.

¹⁶⁷ Da tradução livre da autora de: "(...), any metric based on melanopsin alone will be fundamentally inaccurate and incomplete as a representation of the spectral and absolute sensitivities of the human circadian system". Tradução da autora.

A IES mantém a posição de qualquer prática relacionada com luz e saúde deve ser um documento consensual desenvolvido através de um processo credenciado pelo ANSI. Sem o rigor total de uma norma aprovada pelo órgão, as informações não baseadas em um consenso não podem ser consideradas como totalmente analisadas, sendo que [o órgão] não tem autoridade para fornecer orientação pública sobre meios ou métodos que afetam a saúde pública. O IES estimula a indústria da iluminação a ter cautela ao considerar um documento não consensual para projeto, aplicação e qualificação de produto ou fins regulatórios. (IES, 2019) ¹⁶⁸

A partir dessas discussões, essa seção apresenta as principais métricas de iluminação integrativa na ordem temporal em que foram desenvolvidas. Com isso, pode-se entender a construção do pensamento das métricas circadianas mais utilizadas em projetos integrativos no Brasil (MARTAU; HENRICH, 2020) e a sua relação com o pensamento de concepção do projeto luminotécnico circadiano.

4.2.1 CIE TN 003:2015 - Irradiância Melanópica ($E_{e,z}$)

O *lux melanópico equivalente* (*z-ópico lux*) é a unidade desenvolvida a partir da *função espectral de sensibilidade melanopsina* [$Nz(\lambda)$] do estudo de Lucas et al. (2013, 2014), no qual foram feitas diversas orientações para pesquisadores, projetistas e fabricantes da indústria da iluminação. Esse conteúdo foi revisado e editado em uma Nota Técnica¹⁶⁹, nomeada como TN 003:2015 (PRICE et al., 2015), produzida pela CIE a partir de um workshop do qual participaram os nomes mais importantes nos estudos relacionados à iluminação integrativa. O objetivo do workshop foi o de “estabelecer uma prática comum na literatura científica que dê suporte a futuras meta-análises de estudos sobre a luz¹⁷⁰”. Ainda a nota técnica afirma que “essa aproximação deve levar a um melhor entendimento das respostas fisiológicas à luz e

¹⁶⁸ Tradução livre da autora do trecho: “The IES maintains the position that any Recommended Practice related to light and health should be a consensus document developed through an accredited American National Standards Institute process. Without the full rigor of an ANSI approved Standard, non-consensus-based information cannot be deemed to have been fully vetted and lacks the authority to provide public guidance regarding means or methods that affect public health. The IES urges the lighting industry to exercise caution when considering a non-consensus document for design, application, product qualification or regulatory purposes”.

¹⁶⁹ A Nota Técnica (Technical Note – TN) é um documento produzido pela CIE que resume informações de suma importância para informar os membros da comunidade de iluminação. O documento pode ser acessado de forma gratuita no site da instituição.

¹⁷⁰ Tradução livre da autora do trecho: “The Workshop’s aim is to establish a common reporting practice in the scientific literature that supports future meta-analyses of light studies”. (PRICE et al., 2015, p. 6).

a tempo de permitir uma base firme para a produção e cálculos para ambientes internos e externos¹⁷¹”.

A TN 003 (PRICE et al., 2015) utiliza como base para a construção da métrica os conceitos de Lucas et al. (2014), abordando os princípios de cálculo, a conversão de unidades, as sensibilidades espectrais definidas e as nomenclaturas de unidades. Contudo, ela recomenda calcular individualmente as irradiâncias¹⁷² para cada um dos fotorreceptores de forma individual (Tabela 3).

Tabela 3 - Unidades de irradiância relacionadas aos fotorreceptores

Fotorreceptor	Cone - S	ipRGC	Bastonetes	Cone -M	Cone - L
Fotopigmento	Fotopsina – S Cyanolabe	Melanopsina	Rodopsina	Fotopsina – M Chlorolabe	Fotopsina – L Erythrolabe
Eficiência Espectral S_α(λ)	Cyanolabe Função de Resposta S _{sc} (λ)	Melanopsina Função de Resposta S _z (λ)	Rodopsina Função de Resposta S _r (λ)	Chlorolabe Função de Resposta S _{mc} (λ)	Erythrolabe Função de Resposta S _{lc} (λ)
Quantidade (α-ópico irradiância)	Irradiância Cianópica	Irradiância Melanópica	Irradiância Rodópica	Irradiância Clorópica	Irradiância Eriotrópica
Símbolo	E_{e,sc}	E_{e,z}	E_{e,r}	E_{e,mc}	E_{e,lc}
Unidade Símbolo	W.m⁻²	W.m⁻²	W.m⁻²	W.m⁻²	W.m⁻²

Fonte: adaptado de PRICE et al, 2015.

A nota técnica disponibiliza uma *Toolbox*¹⁷³ para o cálculo de cada uma das unidades de iluminâncias e irradiâncias individuais de cada fotorreceptor com dados do ambiente fornecidos pelo usuário, sendo essa uma adaptação de uma *Toolbox* pré-existente¹⁷⁴. A calculadora pode ser utilizada de três formas distintas, a partir: (a) da inserção de dados coletados por um espectralradiômetro no ambiente da distribuição espectral de potência radiante (DEP) incidente na superfície do olho; (b) da estimativa aproximada com a escolha do tipo de fonte de luz com a distribuição

¹⁷¹ Tradução livre da autora do trecho: “This approach should lead to a better understanding of physiological responses to light, and, in time, allow a firm basis for the production and measurement of light for interior and exterior environments” (PRICE et al., 2015, p. 6).

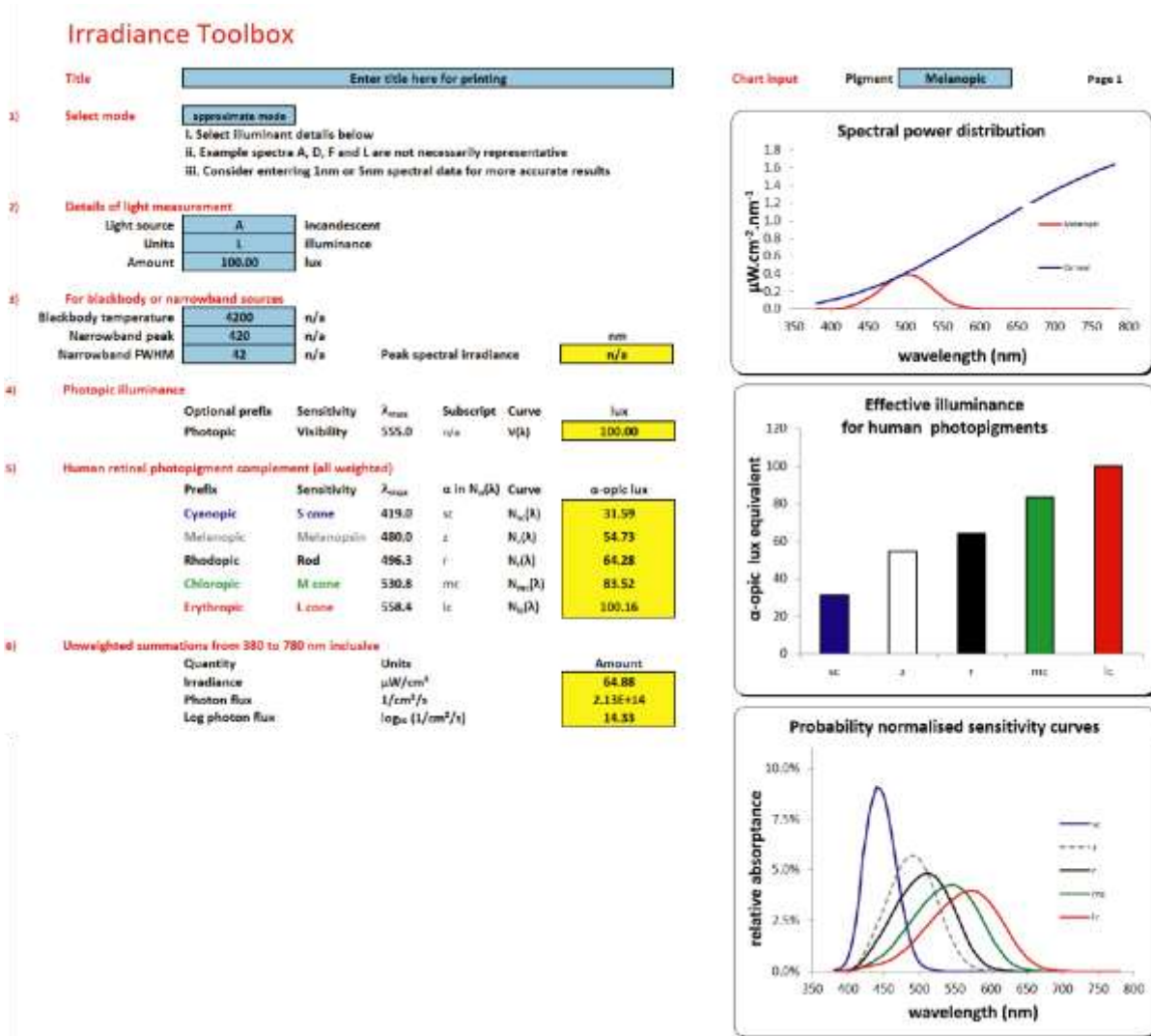
¹⁷² Enfatiza-se aqui que a TN003, diferentemente do artigo de Lucas et al (2014), tem a preferência pela utilização de unidades de irradiância (W.m-2). O uso em unidades de α-ópico lux foi depreciada pelo CIE (PRICE et al., 2015, p. 9).

¹⁷³ A TN 003 (PRICE et al, 2015) disponibiliza um link para acesso a um arquivo de cálculo nomeado de *Irradiance Toolbox*. O link é: http://files.cie.co.at/784_TN003_Toolbox.xls. A tradução em português aproximada do termo utilizado seria “Caixa de ferramentas de irradiâncias”. Portanto, a autora escolheu utilizar o termo original.

¹⁷⁴ A *Irradiance Toolbox* pré-existente é uma de origem do artigo “Irradiance Toolbox user guide” (LUCAS et al., 2013), citada e utilizada no artigo de Lucas et al. (2014).

espectral de potência radiante (DEP) e a temperatura de cor (TCC) padrão (incandescente, luz diurna D65, fluorescente ou LED) e seus valores em lux fotópico; (c) e da inserção de dados de comprimento de onda e propriedades físicas da fonte emissora de luz (Figura 38).

Figura 38 - Irradiance Toolbox



Fonte: PRICE et al., 2015.

A nota técnica traz informações adicionais novas relacionadas à métrica. Uma delas é o impacto da idade da lente do olho humano (cristalino), que leva a alterações de captação de luz¹⁷⁵ (PRICE et al., 2015, p. 10). Por isso, a nota técnica fornece dados de inserção no arquivo de cálculo quando o observador padrão for

¹⁷⁵ A lente do olho humano (cristalino) perde a sua elasticidade com o passar dos anos, alterando a entrada de luz no olho. Além disso, o humor vítreo, como visto anteriormente, torna-se amarelado ao longo do tempo, influenciando na captação de luz pela retina.

uma pessoa com mais de 60 anos de idade¹⁷⁶ (PRICE et al., 2015, p. 23–27). Além disso, a TN informa a complexidade do reflexo à luz da pupila¹⁷⁷ (RLP), que é influenciado por todos os fotorreceptores do globo ocular, incluindo a melanopsina. Todavia, esse aspecto parece não ter sido incluído no cálculo relacionado às irradiâncias e às iluminâncias.

O texto traz uma série de observações para pesquisadores e indústria da iluminação. Ele sugere que, se o objetivo do projeto é minimizar a ativação dos circuitos baseados na melanopsina à noite ou simular um ambiente noturno, a meta deverá ser manter a irradiância a mais baixa possível. De modo inverso, se a intenção é maximizar a ativação dos circuitos baseados na melanopsina, as condições de luz devem reproduzir a luz do dia, sendo brilhante e com uma porção dominante de azuis e verdes em seu espectro. Segue o texto advertindo que, na prática, existem outras recomendações além da quantidade e do espectro da fonte luminosa, como conforto e preferência visual (PRICE et al., 2015, p. 18). As orientações são finalizadas apresentando os principais pontos que devem ser levados em consideração quando falamos em iluminação não visual, que são: a quantidade de luz e o espectro; o tempo, a modulação e a duração da exposição; e os efeitos acumulados da história de exposição luminosa do indivíduo (PRICE et al., 2015, p. 20–21).

No ano de 2018, a CIE desenvolveu uma norma padrão internacional denominada CIE S026/E:2018 (CIE, 2018), a partir dos estudos discutidos pela sua *junta técnica 9 (JTC 9) – sistema para a metrologia da resposta do ipRGC à luz*¹⁷⁸ (CIE, 2019a). Essa norma, assim como a TN 003 (PRICE et al., 2015), define as funções de sensibilidade espectral, as quantidades e as métricas para descrever a capacidade da radiação ótica da luz visível (380nm – 780nm) em estimular cada um dos cinco tipos de fotorreceptores presentes na retina que podem contribuir, através do ipRGC, nos efeitos não visuais em seres humanos. O diferencial dessa norma é que ela

¹⁷⁶ Da mesma forma que Lucas et al. (2014), a nota técnica informa que o cálculo para a definição das sensibilidades espectrais de cada fotorreceptor foi baseado em um observador padrão de 32 anos de idade. O modelo para a função de transmitância para um observador humano padrão tem uma fórmula para a idade de $20 < x < 60$ anos e outra para $x \geq 60$ anos (PRICE et al., 2015, p. 25).

¹⁷⁷ Tradução livre da autora do termo *Pupillary light reflex* (PLR). A nota técnica de PRICE et al. (2015) elucida o mecanismo de contração e dilatação da pupila a partir dos fotorreceptores do olho. Segundo a nota, os cones, os bastonetes e a melanopsina participam do processo de RLP através do ipRGC e suas contribuições mudam ao longo do tempo, mesmo após 30 segundos de iluminação constante.

¹⁷⁸ Tradução livre da autora de: *Joint Technical Committee (JTC) 9 “CIE system for metrology of ipRGC influenced light response”*.

apresenta informações sobre os efeitos da idade e do campo de visão (FOV¹⁷⁹) quando quantifica a resposta da estimulação do fotorreceptor ipRGC à luz diurna (respostas ILL¹⁸⁰), além de definir uma nova métrica a partir da irradiância melanópica ($E_{e,z}$): a *Iluminância (melanópica) equivalente à luz diurna*¹⁸¹ (D65)(CIE, 2019a). Entretanto, devido ao limite orçamentário da pesquisa para a aquisição dessa norma, não foi possível realizar uma leitura e análise completa para utilizá-la no desenvolvimento desse trabalho. A métrica de *lux melanópico equivalente* (EML), baseada em estudos de Lucas et al. (2014), está sendo amplamente utilizada em projetos de iluminação para o sistema não visual a partir da recomendação da *WELL Building Certification*¹⁸² (IWBI, 2020a) nos Estados Unidos da América (EUA) e em diversos países onde a certificação está presente¹⁸³. Ainda que exista uma métrica mais atual, ela está sendo pouco utilizada em projetos luminotécnicos até o momento da publicação desta dissertação.

4.2.2 DIN SPEC 5031-100 e DIN SPEC 67600

O Instituto Alemão de Normas Técnicas (DIN)¹⁸⁴ lançou em 2009 uma diretriz para os efeitos não visuais da luz em seres humanos. Essa recomendação é intitulada de *Vornorm*¹⁸⁵ 5031-100¹⁸⁶. Esse pré-padrão especificou fórmulas e valores do espectro da luz visível no homem potencialmente capazes de causar impactos biológicos, com fatores de correção dos efeitos da idade, como a dilatação da pupila e o ofuscamento do olho. Com isso, foram determinados valores de supressão

¹⁷⁹ Tradução livre da autora da expressão *field of view*.

¹⁸⁰ Tradução livre da autora do termo *ipRGC-influenced responses to light (ILL responses)*.

¹⁸¹ Tradução livre da autora do termo *Equivalent daylight illuminance D65*. Sua abreviação é "EDI". Cada fotorreceptor tem sua própria iluminância, sendo a da melanopsina a iluminância melanópica equivalente à luz.

¹⁸² A WELL Building Certification é uma certificação de edificações focada exclusivamente na saúde e no bem-estar dos seus ocupantes. São concedidos três níveis de avaliação: prata, ouro e platina. A WELL aborda sete conceitos relacionados à saúde humana no ambiente construído - ar, água, alimentação, luz, aptidão física, conforto e mente.

¹⁸³ O International WELL Building Institute é uma "corporação de benefício público" que está focada em certificar edificações por parâmetros de bem-estar e saúde. Essa corporação está ligada à Green Building Council, o mesmo grupo que regula selos como o LEED. Por isso, está presente em diversos países do mundo, incluindo o Brasil.

¹⁸⁴ Tradução livre da autora do termo *Deutsches Institut für Normung (DIN)*.

¹⁸⁵ Pré-padrão. Tradução livre da autora. Essa é a etapa anterior ao desenvolvimento do DIN SPEC.

¹⁸⁶ Física de radiação óptica e Tecnologia da Luz – Parte 100: Efeitos não visuais da luz ocular em seres humanos – Quantidades, símbolos e espectro de ação. Tradução livre da autora de: *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 100: Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen – Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren*.

de melatonina de diferentes fontes luminosas em LED e fluorescentes, como referência. Essa norma foi desenvolvida a partir dos estudos de Gall e Bieske (2004), baseados em trabalhos de Thapan, Arendt e Skene (2001) e Brainard et al. (2001), que consideravam somente a medida de supressão da melatonina para o cálculo da função de sensibilidade espectral.

Percebendo a necessidade de se traçar metodologias que quantificassem o impacto biológico de projetos luminotécnicos, em 2013 é divulgado o DIN SPEC 67600 (2013), uma pré-norma com diretrizes de projeto para iluminação integrativa que foi desenvolvida por um comitê nacional e denominada NA 058-00-27 AA – *Efeitos da Luz nos Seres Humanos*¹⁸⁷.

Em 2015, o DIN lançou uma nova regulamentação, muito influenciada pelos estudos de Lucas et al (2013, 2014), atualizando os valores de referência da influência da luz no sistema biológico do homem, acrescentado da sensibilidade à luz da melanopsina. A DIN SPEC 5031-100 (DIN, 2015) determinou os valores de “*fluxo luminoso melanópico (MEL-LF)*¹⁸⁸” e da “*relação de saída de luz melanópica (MEL-OR)*¹⁸⁹” além de considerar a posição espacial que a fonte luminosa se encontra em relação ao observador.

Atualmente, a DIN SPEC 5031-100 (2015) e a DIN SPEC 67600 (2013) são amplamente utilizadas em conjunto nos projetos de iluminação focados nos efeitos não visuais na Alemanha (LICHT.DE, 2014, 2016) e servem de exemplo em outras localidades do mundo onde não há legislação específica sobre o tema.

4.2.3 Lux melanópico equivalente (EML)

A aplicação mais célebre do *lux melanópico equivalente (z-ópico lux)* e que vem ganhando força nos últimos anos é na certificação para edificações *WELL Building Certification*¹⁹⁰. Nessa certificação, a métrica desenvolvida por Lucas et al.

¹⁸⁷ Tradução livre da autora da expressão *Effect of Light on Human Beings*.

¹⁸⁸ Tradução livre da autora do termo *Melanopic Luminous Flux*. Fluxo luminoso de uma fonte de luz melanopicamente equivalente à luz do dia.

¹⁸⁹ Tradução livre da autora do termo *Melanopic Light Output Ratio*. É a designação da eficiência melanópica de uma luminária.

¹⁹⁰ A versão WELL utilizada no desenvolvimento desta dissertação é a V.2.

(2014) foi adaptada para a aplicação em projetos arquitetônicos, ganhando uma nova denominação: *lux melanópico equivalente* (EML)¹⁹¹ (IWBI, 2020a).

4.2.3.1 Ferramenta de cálculo

A WELL, para facilitar a sua aplicação, propõe uma constante de cálculo (R), a qual é multiplicada pelo o valor de *lux fotópico* (L)¹⁹² para que se obtenha o valor em EML. Portanto, o cálculo se desenvolve a partir da fórmula (5).

$$EML = L \times R \quad (5)$$

Onde: *EML = Lux Melanópico Equivalente (EML)*
L = Lux Fotópico (lux)
R = Razão Melanópica

Para isso, o arquivo de cálculo nomeado “razão melanópica”¹⁹³ (Figura 39) é disponibilizado. Assim, as fontes de luz e sua distribuição espectral de potência radiante (DEP) de padrões predeterminados ou fornecidos pelo usuário são selecionadas. Escolhendo a fonte de luz correspondente ao que existe no ambiente, a planilha de cálculo determina uma constante de cálculo que deve ser multiplicada pelo valor da iluminância vertical (E_v) medida no ambiente¹⁹⁴, resultando no valor em EML.

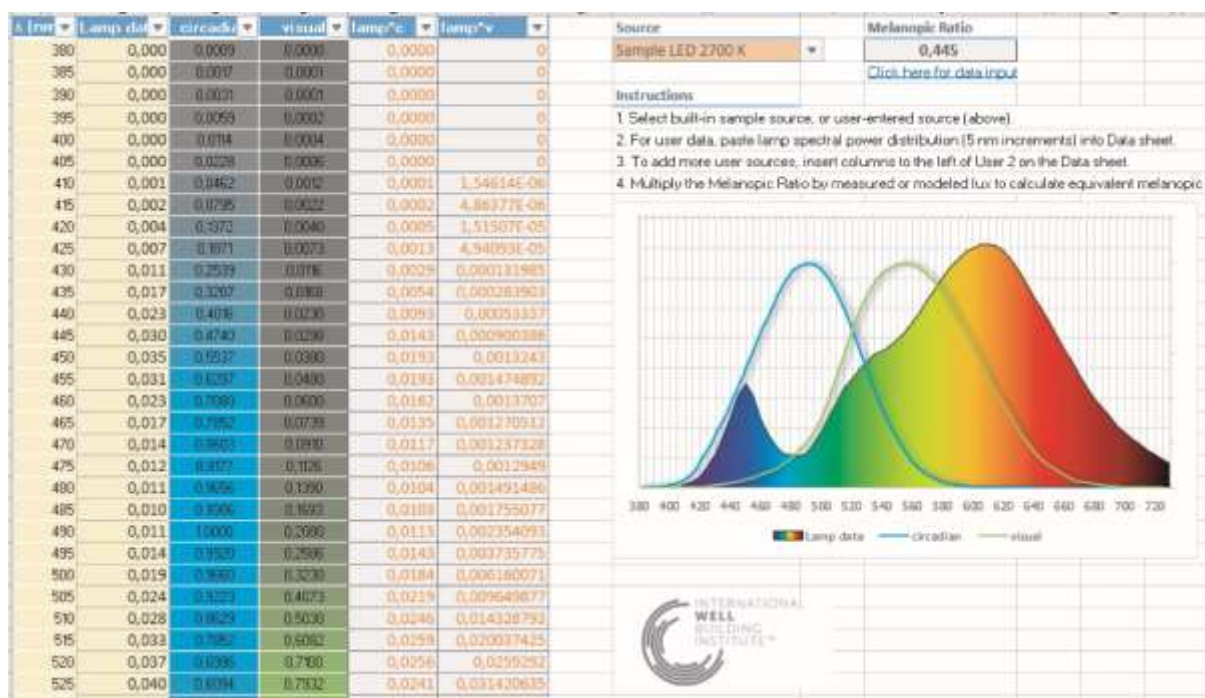
¹⁹¹ A partir da CIE S026/E:2018, uma nova unidade foi apresentada: *Iluminância (melanópica) equivalente à luz diurna (D65)*. Essa unidade é “a iluminância (lux) produzida por radiação em conformidade com a luz do dia padrão (D65) que fornece uma irradiância óptica igual, como fonte de teste” (CIE, 2018). A norma apresenta a conversão da irradiância melanópica, apresentada na TN 003, em iluminância (lux) (que é o EDI). A norma apresenta a conversão da irradiância melanópica, apresentada na TN 003, em iluminância (lux) (que é o EDI). Além disso, considera as informações sobre os efeitos da idade e do campo de visão (FOV) quando quantifica a resposta da estimulação do fotorreceptor ipRGC à luz diurna (respostas III) (CIE, 2019a). Ela está sendo, assim como o EML, aceita para projetos de iluminação para o sistema não visual a partir da recomendação da WELL Building Certification (IWBI, 2020b). Entretanto, ela não será utilizada neste estudo, pois o EML é, ainda, a principal métrica circadiana aceita para a certificação WELL.

¹⁹² O Lux Fotópico (Lux) é medido no ambiente através de um espectrofotômetro a 1,20 m do piso (altura do observador) e em posição vertical.

¹⁹³ Tradução livre da autora do termo *Melanopic Ratio*. Essa planilha de cálculo está presente em: <https://standard.wellcertified.com/sites/default/files/Melanopic%20Ratio.xlsx>

¹⁹⁴ Usualmente, a iluminância dos ambientes é medida através de um luxímetro. Nesse caso, o sensor do luxímetro deve estar posicionado verticalmente para realizar a medição da E_v .

Figura 39 – Imagem da tela da planilha denominada como calculadora “Razão Melanópica”



Fonte: IWBI, 2020b.

4.2.3.2 Recomendações ao projeto de iluminação integrativa

A WELL Standard determina recomendações de “projeto de iluminação circadiana”¹⁹⁵ em sua versão 2 (IWBI, 2020b). Nesse documento, valores mínimos de EML são estabelecidos para o ambiente levando em consideração a presença de apenas luz elétrica ou de luz elétrica e natural em espaços regularmente ocupados¹⁹⁶.

Sendo uma certificação, cada requisito preenchido é pontuado dentro das recomendações gerais para a classificação da edificação em padrões de prata, ouro e platina¹⁹⁷. Por isso, a orientação para iluminação integrativa é dividida em requisitos mínimos necessários para a iluminação elétrica¹⁹⁸ ou para a iluminação elétrica com a presença de iluminação natural atingirem um ou três pontos no total da somatória.

¹⁹⁵ Da tradução livre da autora do termo Circadian Lighting Design.

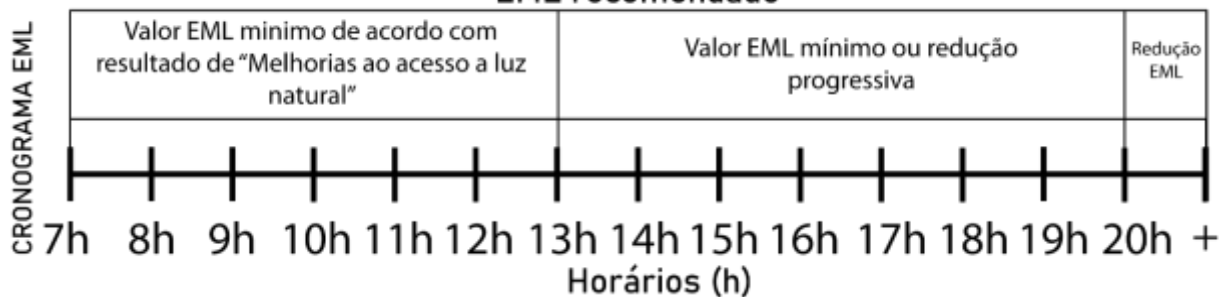
¹⁹⁶ A WELL determina esses espaços como “uma área dentro de uma edificação onde um ou mais indivíduos passam seu tempo, sentados ou de pé desempenhando, as suas atividades por mais de uma hora por dia” (IWBI, 2020b).

¹⁹⁷ As pontuações para cada um dos níveis é: 50 pontos – prata; 60 pontos – ouro; e 80 pontos – platina.

¹⁹⁸ A certificação fala explicitamente que os níveis de EML devem ser alcançados a partir da iluminação elétrica. Contudo, a iluminação natural entra como um outro requisito chamado de “Melhorias ao acesso a luz natural”.

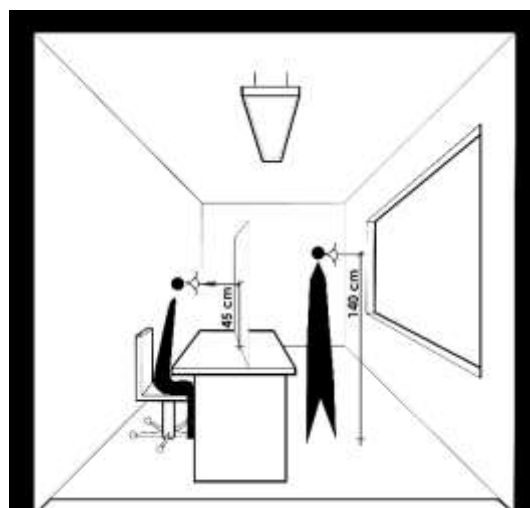
A recomendação geral para a iluminação integrativa indica que os valores mínimos de EML devem ser atingidos pelo menos durante o período entre as 9h¹⁹⁹ e as 13h e reduzidos após as 20h (Figura 40), mantendo-se o mínimo de iluminância recomendado pelo IESNA – *The Lighting Handbook – Reference and Application* (DILAURA et al., 2011) para cada tipo de tarefa ou função realizado no ambiente a ser iluminado. Também, indica que a iluminância (para ser convertida pela Razão Melanópica em EML) deve ser mensurada no plano vertical ao nível do olho do ocupante (E_v), simulando a entrada de luz. Em estações de trabalho, o nível mínimo deve ser alcançado a 0,45 m (1,20 m do piso) acima da superfície de trabalho; e, em espaços sem estações de trabalho, a 1,40 m acima da superfície do piso (Figura 41).

Figura 40 - Cronograma EML
EML recomendado



Fonte: AUTORA baseado em informações de IWBI, 2020.

Figura 41 – Altura de medição de iluminâncias verticais na altura do olho humano para utilizar no cálculo da conversão em EML



Fonte: AUTORA, 2020.

¹⁹⁹ Para um turno que inicia às 9h. Se um turno iniciar antes desse horário, esse é a hora que deve ser utilizada.

Os valores mínimos indicados para a EML variam de acordo com outras recomendações relacionadas com a presença de iluminação natural no ambiente, como o tamanho e a materialidade das esquadrias da envoltória da edificação²⁰⁰, a garantia de vista para ambientes externos²⁰¹, e uma simulação computacional comprovando que o ambiente atinge a iluminância mínima a partir da iluminação natural²⁰². Esse requisito é nomeado como “Melhorias ao acesso à luz natural²⁰³” (IWBI, 2020b). Os valores mínimos recomendados de EML variam se o projeto atingir pelo menos dois pontos nesse requisito. Por isso, a certificação determina que:

- em uma estação de trabalho onde o espaço não atingiu dois pontos no requisito de “Melhorias ao acesso à luz natural”, a iluminação elétrica deve atingir o mínimo de 150 EML (136 EML – D65²⁰⁴) para obter um ponto no total da certificação;
- em uma estação de trabalho onde o espaço atingiu dois pontos no requisito de “Melhorias ao acesso a luz natural”, a iluminação elétrica deve atingir o mínimo de 120 EML (109 EML – D65) para obter um ponto no total da certificação;
- em uma estação de trabalho onde o espaço não atingiu dois pontos no requisito de “Melhorias ao acesso a luz natural”, a iluminação elétrica deve atingir o mínimo de 240 EML (218 EML – D65) para obter três pontos no total da certificação;

²⁰⁰ A WELL orienta alcançar uma de pelo menos duas recomendações desse requisito para se conquistar um ponto na certificação. A primeira recomendação diz que as estações de trabalho devem ficar dentro de um perímetro de até 7,5 m de uma envoltória ou átrio transparente e que seu VLT (*Visible Light Transmittance* – propriedade que diz o quanto de luz o vidro transmite através dele) seja maior que 40%. A segunda recomendação é de que a área de vidro não seja menor do que 10% da área de piso do ambiente e que seu VLT seja maior que 40%.

²⁰¹ A WELL tem como requisito que, pelo menos, 50% dos ocupantes dos espaços regularmente ocupados tenham uma vista externa para atingir um ponto na certificação. Com isso, deve atingir pelo menos duas das três recomendações desse requisito. A primeira recomendação diz que, nos espaços localizados no nível térreo, as aberturas (janelas ou envoltória) da edificação estejam a pelo menos 7,5 m de estradas. A segunda recomendação está relacionada à não existência de obstruções da vista do ocupante do ambiente ao exterior da edificação, sendo que a pontuação deve atingir valores maiores que três em uma escala que vai de um (pior vista - obstruída) a cinco (melhor vista – não obstruída) (HESCHONG MAHONE GROUP, 2003, p. 48). A terceira é que o ocupante tenha pelo menos um ângulo de 30 graus a partir da sua vista de frente ou lateral em que tenha uma vista para a natureza, solo ou céu do ambiente externo à edificação.

²⁰² A WELL tem como requisito que o ambiente atinja uma porcentagem mínima de *Spatial Daylight Autonomy* (sDA) (Autonomia de Luz Natural por área). A métrica mede o valor mínimo de 300 lux de iluminância a partir da iluminação natural em um ambiente regularmente ocupado, por pelo menos 50% do período de ocupação (das 8h às 18h). Para se alcançar um ponto na certificação, mais que 55% do total da área de piso do ambiente regularmente ocupado tem que atingir 300 lux por pelo menos 50% do período de ocupação. Já, para se alcançar dois pontos na certificação, mais de 75% do total da área de piso do ambiente regularmente ocupado tem que atingir 300 lux por pelo menos 50% do período de ocupação.

²⁰³ Tradução livre da autora do termo *L05 – Enhanced Daylight Access*.

²⁰⁴ Esse valor é o referente a valores da unidade *Luz diurna (D65) melanópica equivalente (melanopic equivalent daylight D65)*, definida pela CIE S026 (CIE, 2018).

- em uma estação de trabalho onde o espaço atingiu dois pontos no requisito de “Melhorias ao acesso a luz natural”, a iluminação elétrica deve atingir o mínimo de 180 EML (163 EML – D65) para obter três pontos no total da certificação.

4.2.4 Estímulo Circadiano

Ainda com o nome de *estímulo circadiano* (Circadian Stimulus ou CS, em inglês), a então renomeada *luz circadiana* (Circadian Light ou CL_A, em inglês)²⁰⁵ foi a primeira tentativa de se traduzir matematicamente o modelo hipotético da fototransdução por Rea et al. (2005, 2007, 2010). Diversas modificações na estrutura da fórmula matemática foram sendo realizadas conforme descobertas científicas evoluíram (REA et al., 2012). Em razão disso, esses estudos foram somente apresentados como métricas para quantificar luz em espaços arquitetônicos em artigo de Rea e Figueiro(2018)²⁰⁶.

O estudo de Lucas et al. (2014) propõe cálculos individuais para todos os fotorreceptores encontrados na retina, e as aplicações dessa métrica são mais direcionadas às pesquisas. Por isso, o lux melanópico equivalente (z-ópico lux) foi adaptado para a aplicação em projetos arquitetônicos na Certificação WELL (EML), utilizando somente a sensibilidade espectral da melanopsina.

Nesse artigo, os autores contestam a forma como as adaptações do lux melanópico equivalente (z-ópico lux) para a aplicação no projeto arquitetônico foi desenvolvida. Segundo Rea e Figueiro (2018, p. 504), *“uma função de eficiência luminosa baseada em um único fotopigmento (ipRGC) para métodos de cálculo e medição não teria base científica nas características de neuroanatomia, neurofisiologia e operação do sistema circadiano²⁰⁷”*. Além disso, ponderam que utilizar somente a sensibilidade visual à luz diurna[V(λ)], como Gall e Bieske (2004) fizeram, *“assumiria necessariamente que a fototransdução circadiana humana é*

²⁰⁵ O conceito e a definição matemática foram apresentados na seção 4.1.1

²⁰⁶ Aqui cabe ressaltar a data real do artigo. Se procuramos através da referência, a primeira entrada do artigo para publicação ocorreu no ano de 2016. Entretanto, uma nova publicação do artigo e a que é considerada a publicação oficial ocorreu somente em 2018. Essa é a versão utilizada pela autora dessa dissertação.

²⁰⁷ Tradução livre da autora do trecho: *“[...] a luminous efficiency function based upon a single photo-pigment for calculation and measurement methods would have no scientific grounding in the neuroanatomy, neurophysiology and operation characteristics of the circadian system”*.

aditiva²⁰⁸. Se adotada, essa suposição deve ser explicitada, descartando-se conscientemente a evidência de sensibilidade espectral subaditiva²⁰⁹”(REA; FIGUEIRO, 2018, p. 504). Esses trechos expressam, portanto, que o desenvolvimento de uma métrica circadiana não pode estar baseado em somente um fotorreceptor, como as métricas que foram adaptadas pela *WELL Standard (EML)* e pela *CIE S026* (CIE, 2018), pois transferir a influência de todo o sistema circadiano a um único fotorreceptor (ipRGC) é negar a complexidade de toda a operação do sistema circadiano. Dessa maneira, utilizar um fator de correção, como é a aplicação do EML, e somente um dos fotorreceptores para a construção de uma nova métrica seria uma forma incorreta de abordagem.

4.2.4.1 Ferramenta de cálculo

O estímulo circadiano (CS) é a transformação da luz circadiana (CL_A) em uma escala relativa do valor mínimo para a ativação (CS = 0,1) e para a saturação (CS=0,7) de resposta do sistema circadiano equivalente à supressão noturna de melatonina em porcentagem (10% a 70%) após a exposição de uma hora à luz (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020a). O modelo matemático (6) mostra a relação funcional entre CS e CL_A (REA; FIGUEIRO, 2018).

$$CS = 0,7 - \frac{0,7}{1 + \left(\frac{CL_A}{355,7}\right)^{1,1026}} \quad (6)$$

Onde:

CS - Circadian Stimulus (Estímulo Circadiano)

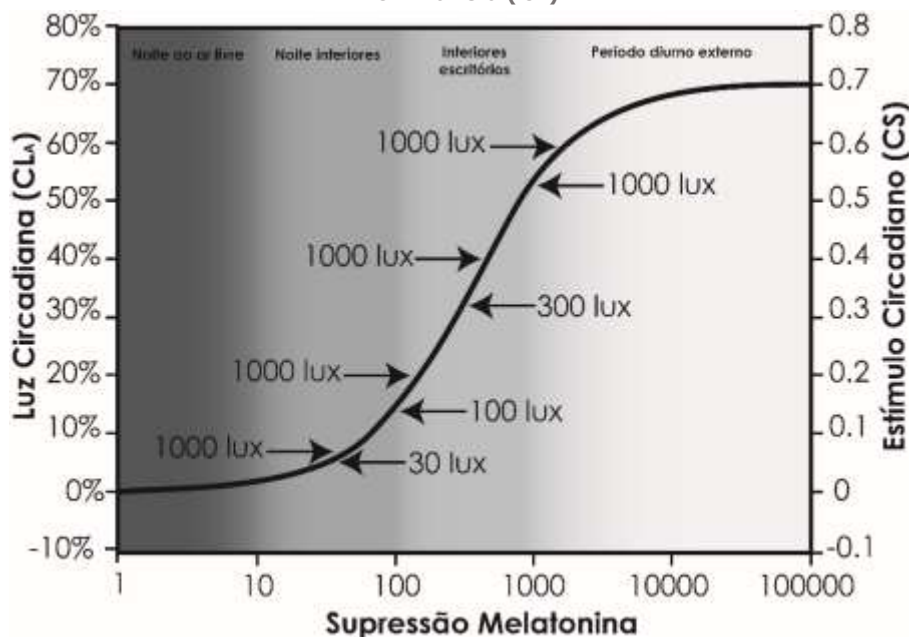
CL_A = Circadian Light (Luz Circadiana)

Já o gráfico na Figura 42 mostra a relação entre a supressão de melatonina, o CL_A, o CS e os valores de iluminância.

²⁰⁸ A fototransdução humana (o processo pelo qual a retina converte a luz em sinais neurais) tem sensibilidades subaditivas, não aditivas. Isto é, tem sensibilidades que não se expressam somente em um único fotorreceptor, pois ele pode ser influenciado por outros fotorreceptores. O ipRGC, por exemplo, não é o único responsável pela fototransdução circadiana. Estudos eletrofisiológicos demonstram que, enquanto os axônios eferentes ipRGC são o principal condutor de sinais ao relógio central, os dendritos aferentes recebem sinais indiretos dos cones e dos bastonetes (REA; FIGUEIRO, 2018).

²⁰⁹ Tradução livre da autora do trecho: “[...] would necessarily assume that human circadian phototransduction is additive. If adopted, this assumption should be made explicit, thereby consciously dismissing the evidence for subadditive spectral sensitivity [...]”.

Figura 42 – Relações entre estímulo circadiano, luz circadiana, supressão da melatonina e iluminância (lux)



Fonte: adaptado de THAYER; MORRISON e LRC-RPI, 2020.

As duas novas unidades, respectivamente, indicam a sensibilidade espectral (CL_A) e absoluta (CS) do sistema circadiano humano. Os autores apresentam uma ferramenta para o planejamento e o desenvolvimento do projeto circadiano, a fim de facilitar o cálculo das unidades circadianas: a *CS Calculator*²¹⁰ (FIGUEIRO; REA; WARD, 2019). Disponível de forma gratuita on-line, esse recurso apresenta três passos para sua utilização. O primeiro passo está em definir as características da fonte de luz a ser utilizada²¹¹, como a temperatura de cor correlata (TCC) e o tipo de lâmpada, e principalmente determinar a distribuição espectral de potência radiante (DEP). Nessa etapa, a calculadora permite que se crie uma nova fonte de luz, adicionando o DEP ou selecionando as lâmpadas do banco de dados. Além disso, mais que uma fonte de luz poderá ser escolhida. A segunda etapa visa estabelecer algumas variáveis de cálculo, como a *densidade do pigmento macular ótico*²¹², e inserir os dados de

²¹⁰ A *CS Calculator* (calculadora CS) está disponível através do link: <https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/>. Ela foi desenvolvida por FIGUEIRO, REA e WARD (2019).

²¹¹ Todas as fontes de luz estão consideradas na calculadora, como as lâmpadas incandescente, fluorescente e LED.

²¹² Tradução livre da autora do termo *Macular Pigment Optical Density*. A calculadora apresenta uma breve explicação sobre o porquê da seleção desse fator. Ela esclarece que as pessoas têm diferentes densidades desse pigmento macular ótico, que pode variar de 0,3 a 0,7. Contudo, o cálculo de Rea et al. (2005) utilizou como padrão o fator 0,5. A calculadora permite variar esse valor a fim de se perceber os diferentes resultados de CS para pessoas com diferentes características físicas.

iluminância vertical (E_v) medidos em cada uma das fontes estabelecidas na etapa anterior. A terceira e última etapa é a divulgação dos resultados através de gráficos da DEP, da cromaticidade e das métricas de fidelidade de cor [índice de reprodução de cor (IRC) e *índice de área gamut* (GAI)]. Ainda, apresenta os valores numéricos de CS, CL_A , iluminância (lux), irradiância ($W.m^2$), *fluxo de fótons* ($fótons.m^{-2}.s^{-1}$), temperatura de cor correlata (TCC), IRC, GAI, e *distribuição espectral de potência radiante relativa e absoluta* (Figura 43).

Figura 43 – Imagem da tela da Web CS Calculator



Fonte: FIGUEIRO; REA; WARD, 2019.

4.2.4.2 Recomendações ao projeto de iluminação integrativa

Em maio de 2020²¹³, o *Lighting Research Center* (LRC) da *Rensselaer Polytechnic Institute* (RPI) lançou²¹⁴ uma plataforma on-line com recomendações gerais de projeto de iluminação integrativa para salas de aula, lar para idosos, edificações para saúde e escritórios (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020b). Além da plataforma on-line, o LRC disponibiliza o documento *Iluminação para escritórios*

²¹³ Aqui ressalta-se como esse conhecimento está se desenvolvendo rápido. Esse site foi lançado nos meses finais de desenvolvimento dessa dissertação, sendo necessária a atualização dessa seção.

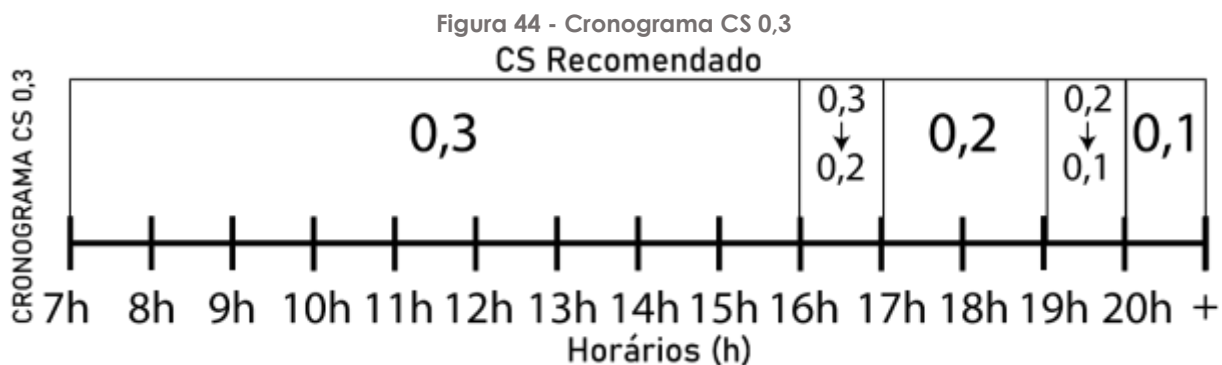
²¹⁴ Anteriormente, o LRC apresentava uma plataforma online denominada *lightingpatternsforhealthybuildings.org*. Essa página saiu do ar em dezembro de 2019, onde retornou como uma plataforma on-line no início de maio de 2020.

(*Lighting for offices*, em inglês) (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020c), que apresenta recomendações gerais para o trabalho diurno e noturno, além de orientações específicas através de cronogramas com valores mínimos de CS para escritórios com mobiliário fixo ou não definidos no ambiente.

As recomendações gerais que o documento apresenta são de que, para o turno diurno de trabalho, o valor mínimo recomendado de *estimulo circadiano (CS)* é de $CS \geq 0,3$ durante o turno diurno ou durante as duas ou três primeiras horas da manhã. Se o sistema manter o $CS \geq 0,3$ – a partir de uma iluminação estática –, orienta-se utilizar uma iluminação adicional com comprimentos de onda longos (vermelha) como uma suplementação da iluminação durante à tarde. Para o trabalho no período da noite²¹⁵, as recomendações são as seguintes: evitar a exposição aos níveis da iluminação que se utiliza nos primeiros horários da manhã e da tarde; utilizar valores baixos de iluminância ($E_H < 100$ lux) com uma TCC “quente” ($TCC < 3500K$) duas horas antes de dormir para evitar desregular o sistema circadiano; evitar a utilização de aparelhos eletrônicos que emitem luz - como celulares e telas de computador - duas horas antes de dormir; e utilizar luz vermelha quando é necessário finalizar tarefas à noite.

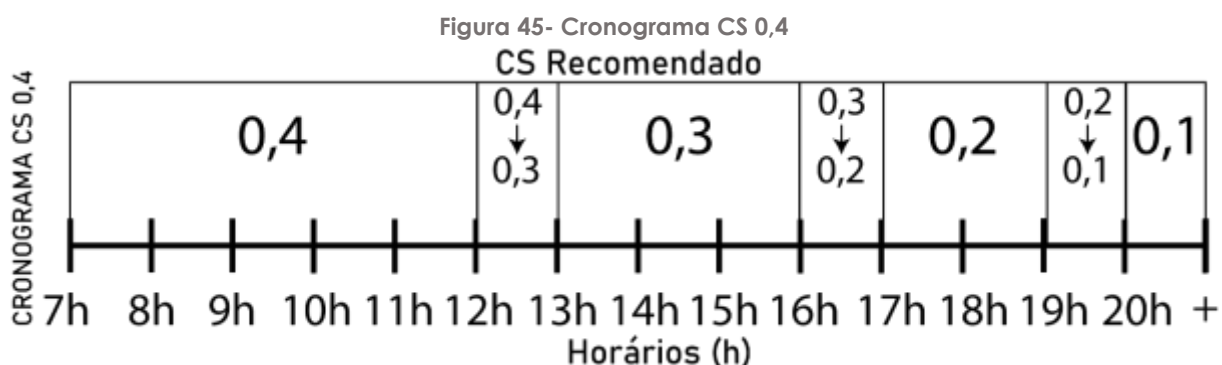
Em escritórios onde as estações de trabalho são fixas, os dispositivos de iluminação pessoal não são possíveis, ou a iluminância mantida é limitada, sugere-se a utilização de um cronograma de CS mínimos denominado de “Cronograma CS 0,3” – traduzido pela autora do original em inglês “CS 0,3 Target” (Figura 44). Os valores recomendados são: um valor constante de $CS=0,3$ das 07h às 16h; uma transição de $CS=0,3$ para $CS=0,2$ das 16h às 17h; um valor constante de $CS=0,2$ das 17h às 19h; e uma transição de $CS=0,2$ para $CS=0,1$ das 19h às 20h (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020c).

²¹⁵ Melhor tradução encontrada pela autora para a palavra *Evening*, em inglês. Esse é um período específico da noite, que compreende o horário que vai das 18h às 24h, não dispondo uma tradução que tenha o mesmo significado específico em português.



Fonte: AUTORA com base em THAYER; MORRISON; LRC – RPI (2020c), 2020.

Em escritórios onde as estações de trabalho não estão definidas, recomenda-se a utilização do *cronograma de CS mínimos* nomeado “*Cronograma CS 0,4*” – traduzido pela autora do original em inglês “*CS 0,4 Target*” (Figura 45). Os valores sugeridos são: um valor constante de $CS=0,3$ das 07h às 16h; uma transição de $CS=0,3$ para $CS=0,2$ das 16h às 17h; um valor constante de $CS=0,2$ das 17h às 19h; e uma transição de $CS=0,2$ para $CS=0,1$ das 19h às 20h (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020c).



Fonte: AUTORA com base em THAYER; MORRISON; LRC – RPI (2020c), 2020.

O documento relaciona um tipo específico de cronograma para escritórios onde a iluminação geral deve ser extremamente baixa para a visibilidade de telas de computador ou onde existam limitações quanto ao consumo de energia. Na aplicação desse cronograma, camadas de luz azul e vermelha são adicionadas ao sistema de iluminação para a complementação da iluminação integrativa (Figura 46). Esse sistema é composto por um *Dispositivo de iluminação pessoal (Personal Lighting device, em inglês)* - que é uma luminária individual de mesa, instalada de forma que a luz se direcione para o olho do usuário do espaço de trabalho -, ou por uma iluminação indireta que faça parte da composição da iluminação geral (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020c).

Figura 46- Exemplos de luz complementar vermelha e azul apresentados no documento *Iluminação para escritórios*



Fonte: THAYER; MORRISON; LRC – RPI, 2020c.

Com essas complementações na iluminação, recomenda-se a utilização do *cronograma de CS mínimos* nomeado “Cronograma CS - luz azul e vermelha” – traduzido pela autora do original em inglês “*Office workers – Blue/Red add-on*” (Figura 47). Os valores sugeridos são: um valor constante de $CS=0,4$ das 07h às 13h com a adição da luz azul; uma transição de $CS=0,4$ para $CS=0,2$ das 13h às 14h com a transição de azul para vermelho; um valor constante de $CS=0,2$ das 14h às 20h com a adição de luz vermelha; e uma transição de $CS=0,2$ para $CS=0,1$ a partir das 20h (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020c).



Fonte: AUTORA com base em THAYER; MORRISON; LRC – RPI (2020c), 2020.

Diferente do EML, as recomendações de CS mínimo indicadas não apresentam uma altura fixa para se mensurar seus valores, mesmo sugerindo que isso seja realizado no plano vertical ao nível do olho do ocupante (Figura 49), simulando a entrada de luz. Isso ocorre devido à necessidade de utilização do *daysimeter*²¹⁶ ou

²¹⁶ O *Daysimeter* é um dispositivo que mede a luz em iluminância fotópica (lux) e circadiana (CLA) que é convertida para CS em níveis diários de repouso e atividade. O dispositivo tem um software associado que interpreta os dados gerados pela luz, quantificando a perturbação circadiana e o estímulo circadiano e permitindo que se possam fazer alterações adequadas na iluminação do ambiente conforme a necessidade (BIERMAN; KLEIN; REA, 2005). A primeira

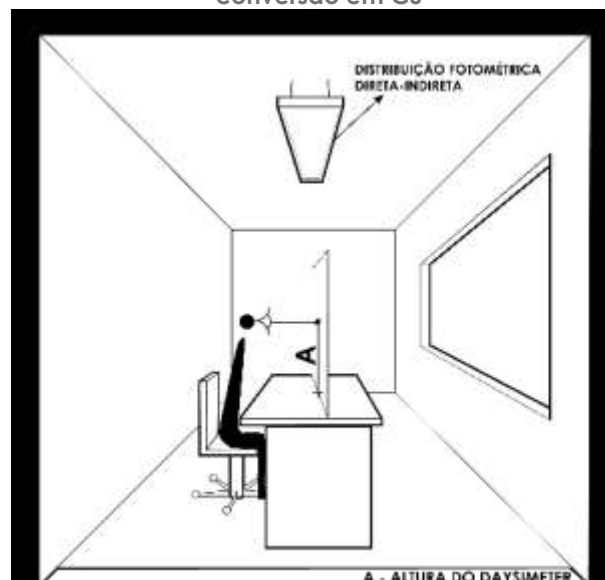
um luxímetro²¹⁷ para se realizar a aferição dessa métrica, variando sua altura individualmente de acordo com o usuário (Figura 48).

Figura 48 – Daysimeter em uso para medição da Ev para conversão em CS



Fonte: REA e FIGUEIRO, 2017.

Figura 49 – CS: Altura de medição da Ev para conversão em CS



Fonte: AUTORA, 2020.

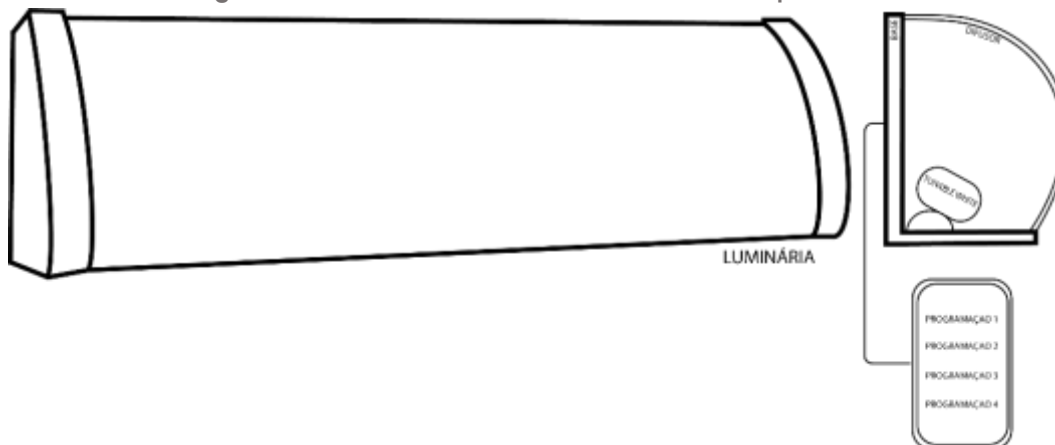
Além dos cronogramas e da recomendação da altura de medição da CS, a plataforma on-line do LRC apresenta uma seção onde explicita melhor sobre os *Dispositivos de iluminação pessoal* que devem ser utilizados em conjunto com a iluminação do ambiente a partir do Cronograma CS 0,4 – Luz azul e vermelha. Como esse tipo de luminária sugerida ainda não está comercialmente disponível, três projetos de fabricação desse dispositivo são disponibilizados pela plataforma.

O primeiro projeto é uma luminária de mesa inserida logo abaixo da tela do computador, fabricada a partir de um *Tunable White* inserido dentro de um perfil em formato de $\frac{1}{4}$ de círculo, com a base em L e um difusor em formato de C (Figura 50). Ela deverá ser orientada para o olho do usuário e fabricada com um difusor para evitar o ofuscamento e a marcação dos pontos LED e um controlador para realizar as alterações de cor ao longo do tempo – automaticamente ou manualmente (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020d).

versão do dispositivo é um equipamento ligado aos óculos. O segundo dispositivo é um objeto quadrado, utilizado como um colar na altura do peito, chamado de *Daysimeter-D*.

²¹⁷ Luxímetro é um aparelho utilizado para medir a intensidade de luz em um ambiente através de um sensor. Com isso, pode-se medir a iluminância média no ambiente.

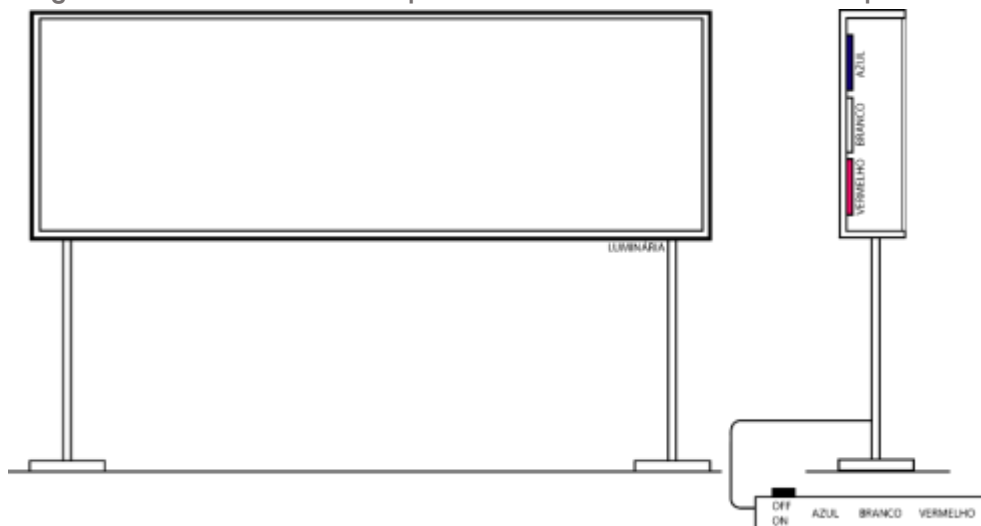
Figura 50 – CS: Luminária de mesa recomendada pelo LRC



Fonte: adaptado de THAYER; MORRISON; LRC – RPI, 2020d.

O segundo projeto é o de uma luminária alinhada com a altura dos olhos, formada por uma caixa em formato de C retangular com um difusor na parte frontal e fitas LED azul, branca e vermelha inseridas internamente e apoiadas em uma haste com uma base (Figura 51). Ela deverá ter a altura dos olhos do usuário e ser orientada para eles, além disso deve ser fabricada com um difusor para evitar o ofuscamento e uma fonte de luz com um controlador com três configurações (azul, branco e vermelho) e um interruptor (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020d).

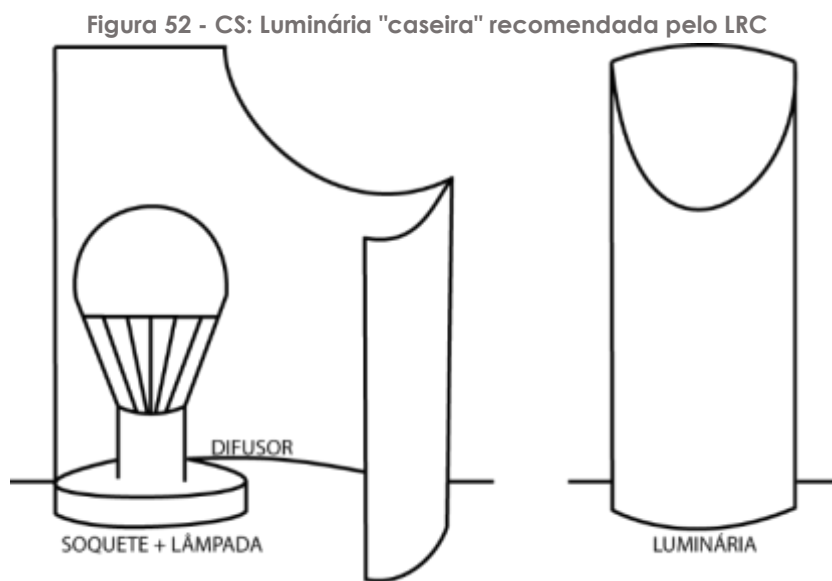
Figura 51 - CS: Luminária com o plano na altura do olho recomendada pelo LRC



Fonte: adaptado de THAYER; MORRISON; LRC – RPI, 2020d.

O terceiro projeto é de uma luminária "caseira" formada por uma lâmpada LED A19 (10 W, mínimo de 760 lm), uma base com um soquete E26/E27 com um interruptor e um difusor feito de dois papéis A4 recortados de acordo com um modelo disponibilizado pelo LRC (Figura 52). A fonte de luz azul deverá emitir uma concentração de radiação eletromagnética com comprimentos de onda curtos

(460 – 480 nm); e a de luz vermelha, uma concentração de radiação eletromagnética com comprimentos de onda longos (625 – 635 nm). Ela deverá ficar posicionada cerca de 0,21 m (8") do eixo da tela do computador – pode ser utilizada uma ou duas luminárias, uma em cada lado da tela -, que deverá estar afastada cerca de 0,46 m (18") do olho do usuário (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020e).

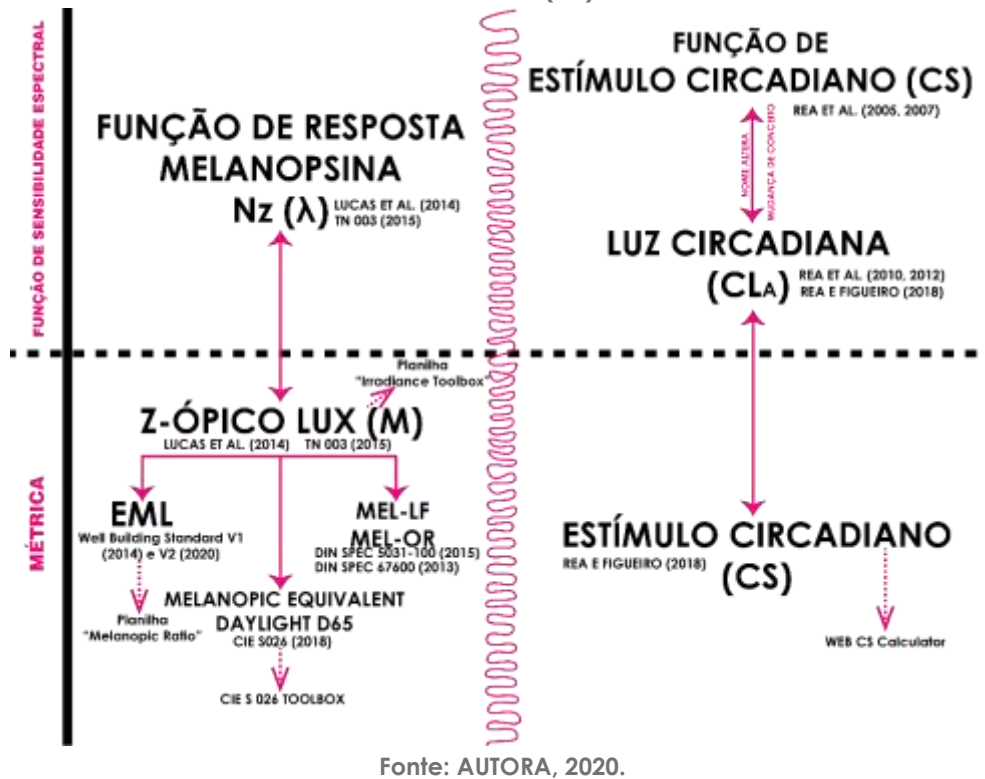


Fonte: adaptado de THAYER; MORRISON; LRC – RPI, 2020e.

4.3 Análise comparativa entre estrutura de construção do EML e do CS

Na Figura 53, estão representadas de forma gráfica as funções de sensibilidade espectral circadianas e suas respectivas métricas circadianas, com suas derivações e os artigos que as originam. As setas com linha tracejada indicam a planilha ou a calculadora que a métrica disponibiliza. Pode-se perceber que a $Nz(\lambda)$ derivou diferentes métricas ao longo do tempo com uma mesma base de função de sensibilidade espectral, porém com diferentes conceitos sobre o desenvolvimento de uma métrica. Enquanto isso, o CL_A e o CS não sofreram qualquer interferência de outros estudos, seguindo um mesmo conceito do início de seu planejamento até o que é aplicado atualmente.

Figura 53 – Análise comparativa entre lux melanópico equivalente (z-ópico lux/EML) e estímulo circadiano (CS)



4.4 Métodos de projetos de iluminação integrativa

Sendo um assunto recente e ainda em desenvolvimento de pesquisa, os processos e as estratégias de projeto dependem da métrica circadiana que será aplicada. Alguns projetos foram e estão sendo desenvolvidos com o EML, através da Certificação WELL, e outros estão em fase de pesquisa a partir de projetos de iluminação com CS. Esta seção apresenta um exemplo de projeto de iluminação integrativa do EML e outro do CS, verificando sua aplicação em um contexto real de ambiente de escritório.

4.4.1 Projeto de iluminação integrativa com o EML

Os projetos de iluminação desenvolvidos com base nas instruções contidas no *WELL Certification* se encontram localizados, principalmente, nos EUA. Contudo, alguns projetos de certificação já foram desenvolvidos em outros países, inclusive no Brasil com a primeira versão da certificação (IWBI, 2014).

O projeto certificado pela WELL no Brasil é o escritório da sede de uma empresa de investimentos imobiliários comerciais na cidade de São Paulo (SP), com

aproximadamente 1 153 m² (Figura 54)²¹⁸. As principais inovações desse projeto foram a elaboração de uma iluminação integrativa e a aplicação do conceito de biofilia²¹⁹ no desenvolvimento do projeto arquitetônico. Além disso, foram empregadas estratégias para melhorar a qualidade de água e do ar no ambiente. O projeto atingiu a certificação WELL Prata (IWBI, 2020c).

Figura 54 – WELL Certification: projeto certificado no Brasil



Fonte: INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE, 2020c.

O projeto arquitetônico a atingir primeiro a melhor classificação mundial entre os escritórios certificados pela WELL é o projeto da sede da *American Society of Interior Designers (ASID)*²²⁰, desenvolvido pelo escritório PERKINS+WILL. O escritório, localizado em Washington, capital dos EUA, atingiu a certificação WELL Platina no ano de 2016 (Figura 55).

Por ser a sede da ASID, o projeto foi desenvolvido com o intuito de ser um modelo para o design e ser um “um laboratório vivo onde a colaboração, a flexibilidade, a sustentabilidade e o bem-estar dos ocupantes são os principais direcionadores do design”(PERKINS+WILL, 2016). Estabelecido em uma edificação com certificação LEED-CI²²¹, o escritório pode acomodar cerca de 40 funcionários

²¹⁸ Essa edificação foi aprovada pela Versão 1 da WELL Certification.

²¹⁹ Biofilia é uma das recomendações da WELL V1 que considera a interação dos ocupantes da edificação com a natureza e o seu entorno, procurando atender às necessidades psicológicas do usuário (reduzir o estresse). O projeto deve preencher uma série de requisitos que proporcionem uma interação com a natureza e o ambiente externo, possibilitando um espaço em que prevaleçam os sentimentos positivos e diminuam os negativos (IWBI, 2014).

²²⁰ Sociedade Americana dos Designers de Interiores. Tradução livre da autora.

²²¹ LEED-CI é um selo de certificação oferecido pelo *Green Building Council (USGBC)* especificamente para projetos de interiores, que foca em estratégias de consumo consciente de água, otimização do sistema de ar-condicionado,

em aproximadamente 674 m². Os espaços de trabalho não têm assentos designados, variando entre ambientes individuais e coletivos, sendo bastante flexíveis de acordo com a necessidade de cada ocupante (Figura 56).

Figura 55 -Edifício que recebeu a WELL Certification: Foto de ambientes internos da ASID



Fonte: PERKINS+WILL, 2016.

Figura 56 – Edifício que recebeu a WELL Certification: Fotos de ambientes internos ASID



Fonte: PERKINS+WILL, 2016.

tecnologias para iluminação, automação, escolha de materiais e equipamentos, tecnologias para manutenção da qualidade do ar e gestão do trabalho para reduzir o impacto ambiental (US GREEN BUILDING COUNCIL, 2019).

Em razão da certificação WELL, várias tecnologias foram aplicadas no ambiente, sendo uma delas a iluminação integrativa. O projeto de iluminação inclui um sistema projetado para reproduzir o ciclo de temperatura de cor diária da luz natural, com o objetivo de maximizar os benefícios para a saúde dos ocupantes. O sistema conta com uma tecnologia de iluminação totalmente automatizada, na qual as temperaturas de cor e a iluminância são ajustadas de acordo com o posicionamento do sol e as condições climáticas externas, evitando também o desconforto visual e o ofuscamento. Além disso, foram aplicadas estratégias de projeto biofílico para reduzir o estresse, trazendo materiais naturais, formas arquitetônicas dinâmicas e configurações espaciais que melhoram a experiência do usuário no espaço (PERKINS+WILL, 2016).

A edificação foi avaliada em pré e pós-ocupação a partir de uma variedade de sensores e aplicativos integrados ao espaço arquitetônico, permitindo que dados sobre o comportamento dos ocupantes e diversos tributos ambientais (consumo de energia, qualidade do ar, níveis sonoros, teste de qualidade da água e variação da dinâmica da luz) pudessem ser acompanhados quase que em tempo real. Por essa razão, a *Cornell University* realizou uma pesquisa para avaliar o impacto que as decisões de projeto poderiam causar nos seus ocupantes. O resultado apresentado demonstrou que a satisfação dos funcionários em relação à qualidade ambiental do escritório aumentou significativamente, como também a satisfação geral com o trabalho, o apoio percebido pela organização e a percepção da produtividade organizacional (PERKINS+WILL, 2017).

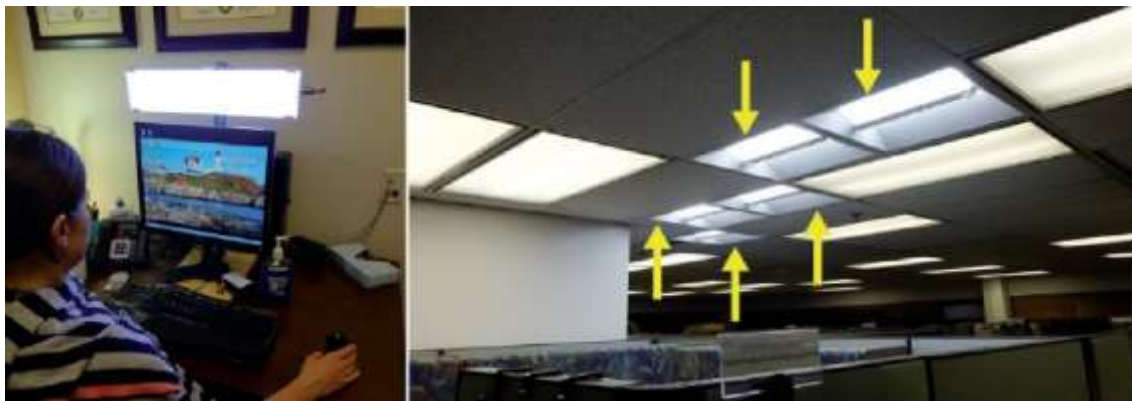
4.4.2 Projeto de iluminação integrativa com o CS

A aplicação do CS em projetos de iluminação tem diferentes valores de acordo com a função do ambiente (salas de aula para crianças e adultos, lar para idosos, edificações para saúde e escritórios) e a idade dos ocupantes (crianças, adultos e idosos). Por isso, desde maio de 2020, o *Lighting Research Center* disponibiliza uma página de internet para auxiliar os projetistas de iluminação na seleção dos valores de CS que seriam mais adequados para a criação de um ambiente saudável, apresentando modelos de projeto, denominada como

*Iluminação para uma vida saudável*²²² (*Lighting for healthy living*, em inglês) (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020b).

Estudos estão sendo realizados para validar a métrica CS, como o de Figueiro et al. (2018). Essa pesquisa avaliou o impacto da iluminação integrativa planejada através da métrica CS em trabalhadores de escritório²²³. As mesas de trabalho e o ambiente tiveram as suas iluminações modificadas para a realização do estudo. Duas luminárias foram utilizadas, dependendo da configuração de projeto arquitetônico do escritório: uma acima da cabeça do usuário; e outra sobre a mesa e à frente do usuário (Figura 57). O posicionamento dessas luminárias foi determinado para que se obtivesse luz direcionada à córnea para atingir o mínimo de CS $\geq 0,3$ durante o período da manhã no turno diurno de trabalho.

Figura 57 -CS: Imagens de posicionamento de fontes de luz no escritório da pesquisa



Fonte: FIGUEIRO et al.,2018.

Os dados relativos à iluminância fotópica (lux) e à iluminância circadiana (CLA), posteriormente convertida para CS, foram obtidos através do *daysimeter* em um período do verão (julho a agosto) e outono (outubro a novembro) do hemisfério norte. A pesquisa foi realizada durante três dias em ambas as estações. O primeiro dia foi utilizado para análise do ambiente sem a intervenção da adição de luminárias, avaliando a iluminância fotópica e circadiana existente, além dos níveis de sono e de humor dos ocupantes através de questionários psicométricos. Nos dois dias seguintes, foram realizadas as medições da iluminância fotópica e circadiana com a inserção das luminárias, além de aplicar novamente os questionários padrões que

²²² <https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving>

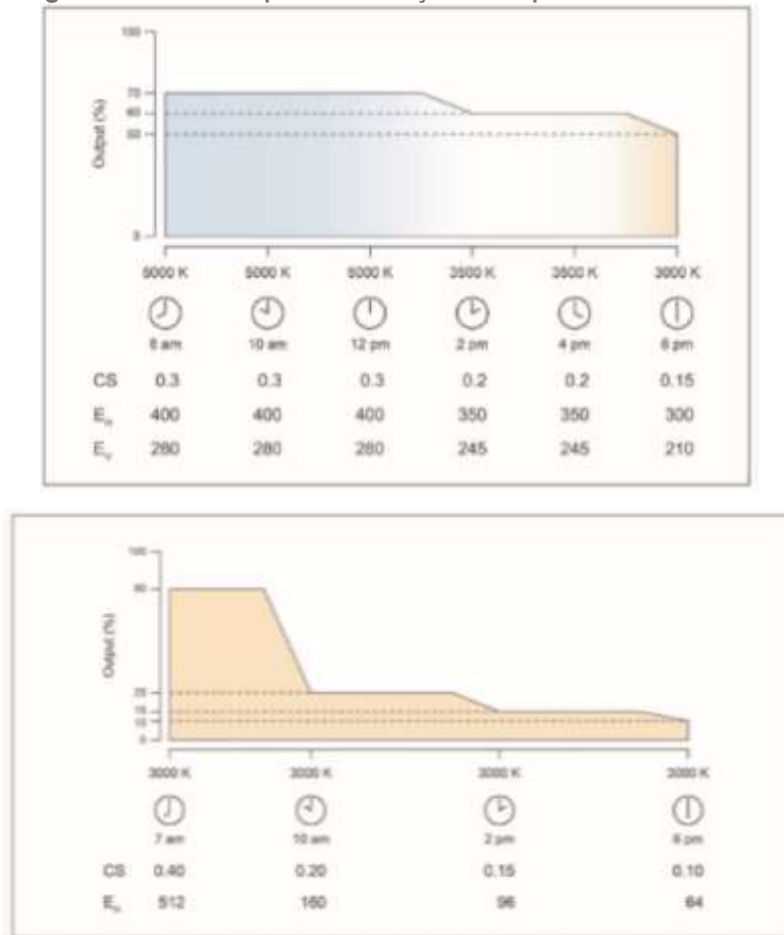
²²³ O nome do estudo é *Circadian-effective light and its impact on alertness in office workers*.

definem o nível de qualidade do sono e do humor. Por fim, cruzaram-se os dados relativos às iluminâncias fotópica e circadiana mensuradas pelo *daysimeter* e os resultados dos questionários. Os dados demonstraram que o projeto luminotécnico com $CS \geq 0,3$ durante o turno de trabalho reduziu significativamente a sonolência diurna, aumentando a disposição e o estado de alerta nos dois dias em que foi aplicada a iluminação integrativa (FIGUEIRO et al., 2018).

As recomendações de como utilizar o CS nos projetos luminotécnicos estão descritas no artigo de Figueiro, Gonzales e Pedler (2016). Segundo os autores, quando se especifica a iluminação para o sistema circadiano, é importante considerar a iluminância (lux), o espectro (nm), o tempo e a duração da exposição (horas) e a história de exposição à luz dos ocupantes desse projeto. Por isso, algumas considerações devem ser lembradas para iniciar o planejamento de um projeto de iluminação utilizando a métrica, como:

- requisitar a distribuição espectral de potência radiante (DEP) das fontes de luz que irão ser utilizadas e não somente a temperatura de cor correlata (TCC). A TCC é um fator importante, contudo o DEP é a principal informação a ser utilizada no cálculo da métrica circadiana;
- projetar para a iluminância vertical (E_v) no olho (na altura da córnea), não somente na iluminância mantida (E_m) (mesas, piso);
- selecionar luminárias que forneçam a melhor proporção entre a iluminância mantida (E_m) e a vertical (E_v). Essa informação pode ser obtida através dos dados fotométricos IES dos fornecedores dos produtos.
- escolher uma fonte de luz que tenha uma maior intensidade na região do espectro de ondas mais curtas (azul) como uma forma de compensação para atingir os níveis necessários de CS, se houver restrições devido a regulamentações para valores baixos de iluminância. Portanto, o espectro compensa a iluminância. Da mesma forma, a iluminância pode ser utilizada para que se atinjam os níveis necessários de CS, alternando a sua intensidade (Figura 58).

Figura 58 - CS: Exemplos de variação de espectro e iluminância



Fonte: FIGUEIRO; GONZALES; PEDLER, 2016.

- utilizar a luz natural como a parte mais importante do projeto de iluminação quando possível, pois ela é o principal regulador circadiano;
- considerar quem irá ocupar o espaço a ser planejado, principalmente as características relativas à idade dos ocupantes;
- pensar em projetos de iluminação com diversas camadas de luz, principalmente se houver restrições de projeto que impeçam que os níveis de CS sejam atingidos.

As recomendações gerais de como utilizar o CS estão descritas também na plataforma digital *Iluminação para uma vida saudável*. São apresentados seis passos para o projetista de iluminação realizar um projeto de iluminação integrativa utilizando o CS (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020f):

1. estabelecer um critério de projeto de iluminação integrativa, por exemplo utilizar $CS=0,3$;
2. escolher o tipo de luminária, por exemplo uma luminária direta /indireta;

3. selecionar a fonte de luz, por exemplo um LED de 3000K;
4. realizar simulação computacional em programas fotometricamente realistas, como o DIALux, para determinar os valores de iluminância mantida e vertical do ambiente;
5. calcular o CS a partir da iluminância vertical (E_v) na altura do olho do usuário e o DEP da fonte de luz;
6. determinar se o sistema atende aos parâmetros da iluminação integrativa. Se não atender, repetir do segundo ao sexto passo.

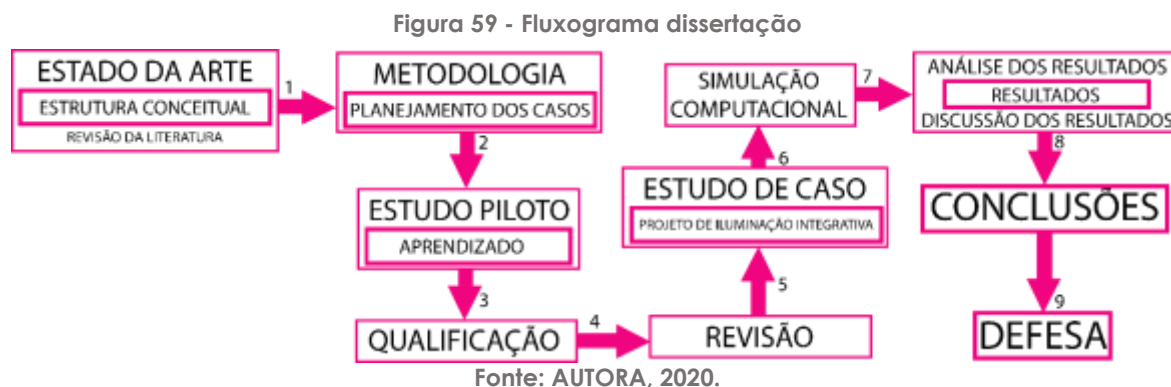
Thayer, Morrison e LRC – RPI (2020f) evidenciam que, para o passo 1, a informação mais importante para determinar o CS e a estratégia de projeto que será utilizada nesse ambiente é conhecer quem são os usuários desse ambiente; seus históricos de exposição à iluminação – por exemplo, como se expõem à luz fora do ambiente de projeto –; suas idades; onde, como e quando vão utilizar esse ambiente, identificando onde ele está localizado geograficamente. Para o passo 2 e 3, eles afirmam que é importante obter a DEP da fonte de luz, pois geralmente as que contêm maior concentração de comprimentos de onda curtos (azul) apresentam maiores valores de CS. Os autores também destacam a importância da iluminância vertical (E_v), da intensidade de distribuição da fonte luminosa e da duração da exposição a essa iluminação para que o sistema circadiano responda com a supressão ou não da melatonina. Para os passos 4 e 5, informações sobre as características físicas do ambiente - como a configuração do espaço e seus materiais - e sobre a fonte de luz - através do arquivo IES (.ies) - são essenciais para que se possa desenvolver a simulação computacional adequada para fazer previsões sobre o desempenho da luminária, os valores de CS, a densidade de potência de iluminação e os gastos de energia. Para o passo 6, os autores realçam a importância da interação entre arquitetos, luminotécnicos e fabricantes de luminárias para que um projeto de iluminação integrativa seja desenvolvido e os critérios determinados pelos órgãos reguladores (como o IES), bem como os requisitos do CS, sejam atendidos.



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO ESCRITÓRIO HIPOTÉTICO / FOTO: AUTORA

5. METODOLOGIA

A pesquisa desenvolvida abordou diretamente o projeto, discutindo as métricas de iluminação integrativa e suas metodologias de cálculo. Ela foi classificada como exploratória (GROAT; WANG, 2013) e o método empregado foi o de estudo de caso, com a simulação computacional como procedimento. Para chegar à definição do objeto do estudo de caso, foi realizada a revisão da literatura e um estudo piloto. A partir do estudo piloto, foram definidos os parâmetros necessários e foi analisada a capacidade do software escolhido em reproduzir as situações a serem investigadas (Figura 59).



5.1 Estudo piloto: teste das ferramentas de cálculo do EML e do CS e simulação do ambiente hipotético

O objetivo do estudo foi comparar os resultados de projeto aplicando os valores de iluminância para a visão (métrica visual) recomendados pela *ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior* (ABNT, 2013a)²²⁴ com os valores mínimos das métricas circadianas recomendados para estimular o sistema não visual.

Em uma sala de escritório padrão hipotética, sem a presença da iluminação natural, foi projetada a iluminação elétrica de acordo com as recomendações mínimas de iluminância no plano de trabalho da norma brasileira (ABNT, 2013a), através da simulação computacional pelo DIALux evo 8 (DIAL GMBH, 2018a). O espaço apresentava dimensões de 4,30 m x 7,50 m, totalizando 32,25 m², e um forro que preenche o teto a uma altura de 3,50 m do piso acabado. O plano de trabalho era uma mesa compartilhada com dimensões de 5,20 m por 1,60 m. Os materiais possuíam refletâncias padrões de 70% para o forro, 50% para as paredes, 20% para os pisos e 20% para o plano de trabalho. A partir disso, os valores de iluminância vertical foram calculados através de um ponto de cálculo estabelecido a 0,45 m (1,20 m do piso) de altura da superfície de trabalho que está a 0,75m do piso, e convertidos para os valores das métricas circadianas EML e CS/CL_A. Os projetos foram realizados com duas fontes de luz diferentes, uma fluorescente e outra LED, porém ambas com a mesma temperatura de cor de 4000 K.

²²⁴ A *ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior* irá ser nomeada a partir desse momento do texto como *norma brasileira de iluminação* ou *norma brasileira*.

Os resultados demonstraram que os valores mínimos de iluminância recomendados pela norma brasileira de iluminação para iluminâncias horizontais não geram iluminâncias verticais capazes de suprimir a melatonina nesse ambiente de trabalho hipotético. Além disso, verifica-se a importância significativa da iluminância vertical e da distribuição espectral de potência radiante (DEP) da fonte de luz no processo de projeto de iluminação integrativa, pois causam impacto direto nos valores circadianos e, conseqüentemente, na ativação ou não da melatonina.

O estudo piloto foi essencial para o aprendizado da dinâmica de funcionamento das métricas circadianas e de suas calculadoras, bem como do funcionamento do programa de simulação computacional escolhido. Confirmou-se a importância da verificação da iluminância vertical na altura do olho do usuário para a conversão em unidades circadianas (aspectos não visuais), enquanto a iluminância horizontal no plano de trabalho está relacionada aos aspectos de conforto visual. A temperatura de cor correlata (TCC), que muitas vezes é utilizada em projetos de iluminação denominados como circadianos, não é o principal agente para a determinação se um projeto é ou não é circadiano, e sim seu DEP. Outro aspecto constatado foi que a ferramenta de simulação computacional auxilia na captação das iluminâncias verticais e horizontais e mede o ofuscamento através dos objetos de cálculo inseridos no ambiente, sendo necessária a conversão dessas unidades em unidades circadianas a partir das ferramentas de cálculo disponibilizadas pelos autores das duas métricas.

Maiores detalhes dos procedimentos do estudo piloto realizado estão disponíveis na publicação do artigo no VI Simpósio Brasileiro da Qualidade do Ambiente Construído de 2019 (CHAVES; MARTAU, 2019) - realizado em Uberlândia, Minas Gerais - no APÊNDICE A no final desse trabalho.

5.2 Estudo de caso: projeto de iluminação convencional em um escritório administrativo hipotético e as suas relações com o projeto de iluminação integrativa

O estudo de caso foi desenvolvido com o objetivo de identificar a relação entre metodologia de projeto luminotécnico convencional e as metodologias de iluminação integrativa. Contudo, a iluminação inadequada dos ambientes passa pelo pouco aproveitamento da iluminação natural, conforme apresentado nos estudos da seção 2.5. Com isso, a autora considera que um projeto de iluminação de

qualidade não pode prescindir do aproveitamento da luz natural dentro dos ambientes, sendo pertinente investigar seu comportamento no caso estudado. Portanto, o estudo de caso desenvolveu-se em duas fases, possibilitando uma discussão acerca de uma melhor qualidade da iluminação natural e elétrica.

A primeira fase (Fase 01) foi uma avaliação do comportamento da iluminação natural no escritório administrativo hipotético através da norma brasileira e do EML e do CS. A segunda fase (Fase 02) analisa o projeto de iluminação convencional do escritório a partir das ferramentas de cálculo do EML e do CS. Assim, realiza-se a *análise descritiva* dos resultados e dos impactos no processo de desenvolvimento do projeto luminotécnico que essas novas metodologias provocam.

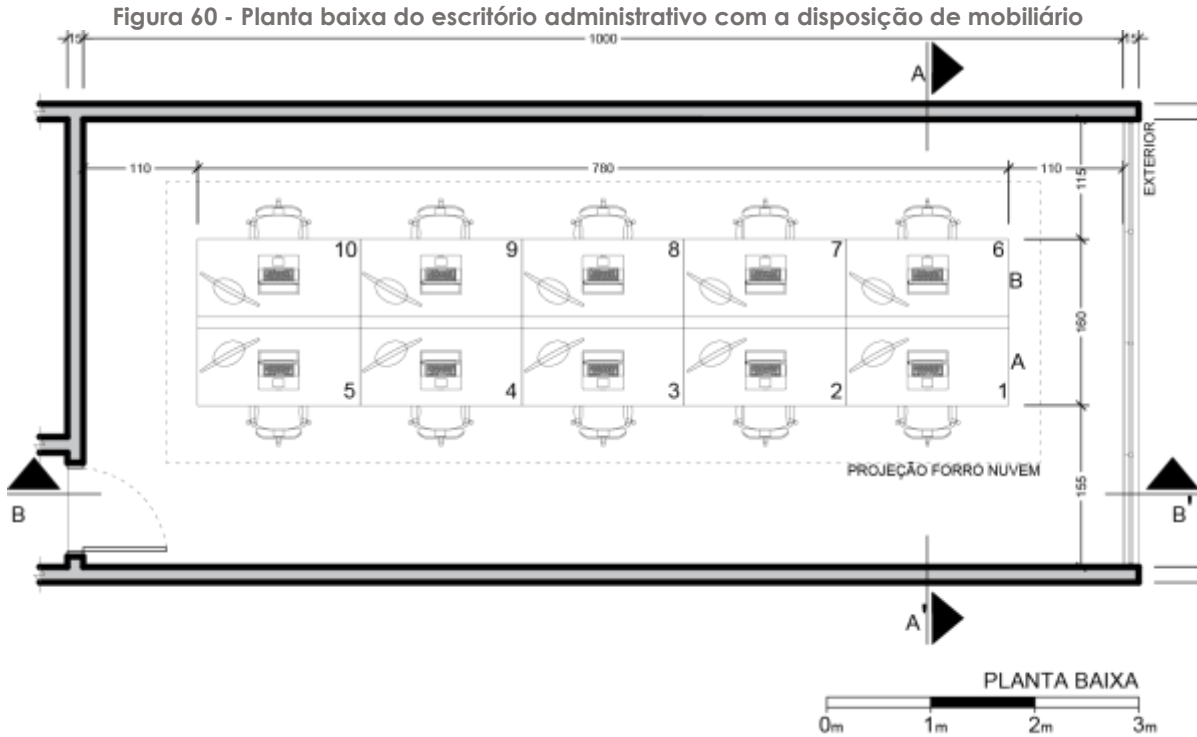
5.2.1 Definição do escritório administrativo hipotético e do perfil dos usuários do espaço

O ambiente em que foi desenvolvido o projeto de iluminação convencional analisado e o ambiente em que foi avaliado o impacto e aproveitamento da iluminação natural é uma sala de escritório administrativo hipotético, localizado na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil (30° 01' 59" S / 51° 13' 48" W). A área apresenta dimensões de 4,30 m x 10 m, totalizando 43 m², localizado no oitavo pavimento da edificação, não sendo consideradas obstruções externas de outros edifícios. Com uma altura do piso acabado até a laje superior de 3 m, o escritório possui um forro estilo "nuvem" com dimensões de 2,70 m x 8,40 m e um pé direito de 2,75 m. Essa configuração foi escolhida por representar a mais convencional e a mais adversa na qualidade do espaço de salas disponíveis para ocupação encontrada em Porto Alegre, de acordo com a experiência profissional da autora.

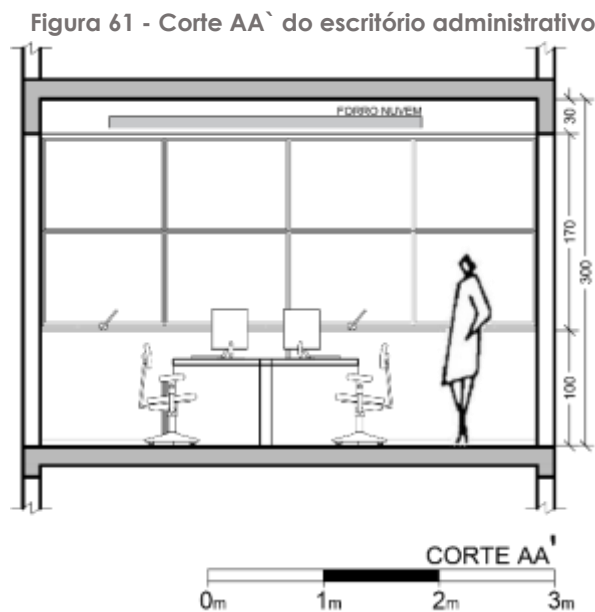
A esquadria do ambiente está projetada conforme as orientações de dimensões mínimas de esquadrias por ambiente de acordo com o Código de Obras de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1992) e outras recomendações relacionadas no capítulo 3 desta dissertação, totalizando 7,31m² de vão luz, e não apresenta obstruções externas nem proteções solares da envoltória do edifício. Além disso, o vidro da esquadria apresenta um valor de transmissão luminosa (VLT) de 85%, que representa a utilização de um vidro comum (ABNT, 2005d).

Os materiais foram definidos como refletâncias padrões, respeitando os valores máximos e mínimos indicados pela norma brasileira de iluminação e pelo *The Lighting*

Handbook (DILAURA et al., 2011). As superfícies possuem refletância de: 80% para o teto; 50% para as paredes; 40% para os planos de trabalho; e 20% para o piso.

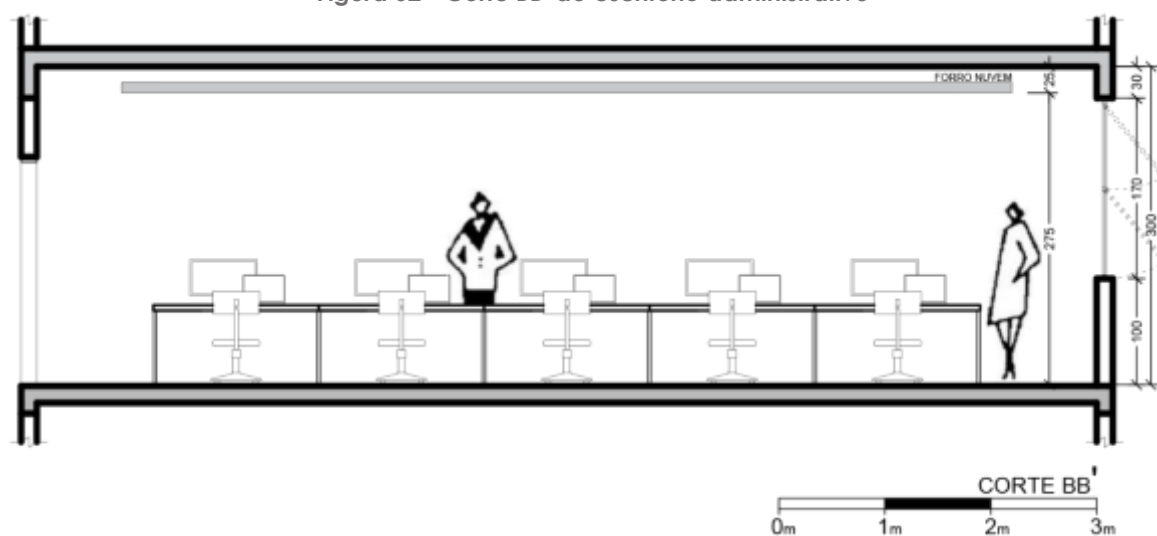


Fonte: AUTORA, 2020.



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 62 - Corte BB' do escritório administrativo



Fonte: AUTORA, 2020.

Os ocupantes desse ambiente são cinco mulheres e cinco homens na faixa etária entre 25 e 35 anos. Seus turnos de trabalho ocorrem das 8h às 12h e das 13h às 18h, podendo se estender até duas horas extras (20h). Todos os ocupantes usam os computadores como uma ferramenta de trabalho e apresentam histórico de exposição à luz similar uns aos outros.

5.2.2 Estudo de caso – Fase 01: avaliação da influência da orientação solar e do tipo de céu na iluminação natural incidente no escritório administrativo hipotético a partir da perspectiva da norma de iluminação vigente, do EML e do CS

A fase 1 do estudo de caso se propôs a avaliar a influência da orientação solar (norte, sul, leste e oeste) e do tipo de céu mais favorável (céu claro) e mais crítico (céu encoberto) na iluminação natural incidente no ambiente hipotético a fim de que sejam atingidos os valores de iluminância horizontal (E_H) para o plano de trabalho (0,75 m) determinados pela norma de iluminação brasileira (ABNT, 2013a) e de iluminância vertical (E_V) na altura do olho do usuário (1,20 m) determinados pelo Lux Melanópico Equivalente (EML) - a partir das recomendações das determinações da *WELL Certification* -, e pelo Estímulo Circadiano (CS) - a partir das recomendações de Thayer, Morrison e LRC-RPI (2020b). Esse estudo foi realizado através de uma simulação computacional em DIALux evo 8 nos dias de equinócio (21/09) e de

solstícios (21/12 e 21/06) e em diferentes horários ao longo do dia (8h, 10h, 12h, 14 e 16h). A metodologia seguiu a sequência de procedimentos a seguir:

➤ *Seleção do tipo de céu de simulação computacional e seus DEP, os dias típicos, horários do dia e orientação solar*

Primeiramente, para experimentar a situação mais favorável e a situação mais crítica da incidência de iluminação natural no ambiente, foram selecionados para a simulação dois tipos de céu possíveis pelo programa DIALux evo 8. O céu claro foi definido como a situação mais favorável; e o céu encoberto, como a situação mais crítica. Isso é necessário para determinar os valores DEP de cada tipo de céu para a inserção nas calculadoras circadianas do EML e do CS, permitindo que possamos definir o valor das iluminâncias verticais circadianamente ativas ou não circadianamente ativas²²⁵.

Outro parâmetro definido para a simulação computacional foram os dias com características especiais de fotoperíodo, como explicitado no capítulo 3. Foram utilizados os dias 21 de dezembro (solstício de verão), 21 de junho (solstício de inverno) e 21 de setembro (equinócio de primavera) em Porto Alegre (30° 01' 59" S / 51° 13' 48" W).

Além dos dias com características especiais, foram definidos os horários das simulações. Estipulou-se que elas fossem realizadas às 8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 17h e 18h, horários escolhidos a partir da revisão da literatura de ambas as métricas. Como apresentado no capítulo 4, elas estabelecem que os primeiros horários da manhã devem ser circadianamente ativos, bloqueando a produção de melatonina, e progressivamente inativos a partir dos primeiros horários da tarde (EML) ou a partir das 16h (CS) para permitir o aumento dos níveis de melatonina nos ocupantes do ambiente iluminado.

²²⁵ As iluminâncias circadianamente ativas são aquelas que suprimem a produção de melatonina ideal para as primeiras horas da manhã, devendo ser evitadas após os horários apresentados no capítulo 4 desta dissertação. As não circadianamente ativas são as iluminâncias que não interferem na produção de melatonina. As iluminâncias podem ter seu valor alterado, dependendo da fonte de luz escolhida e de seu DEP. A dissertação considera que o valor de 150 EML, sugerido pela WELL, é circadianamente ativo, pois esse valor é recomendado para os primeiros horários da manhã, como foi apresentado no capítulo 4.

➤ Definição das E_V suficientes para suprimir a melatonina de acordo com o EML e o CS e da E_H da superfície de trabalho

- Lux Melanópico Equivalente (EML) -

Para definir as iluminâncias verticais circadianamente ativas, foi necessário determinar o valor da Razão Melanópica (R). Uma vez que o valor mínimo recomendado para o ambiente nos primeiros períodos da manhã (8h às 13h) era conhecido [150 EML (EML)]²²⁶, foi possível convertê-lo em valores de iluminância vertical (L) através da fórmula apresentada no capítulo 4.

Os valores de DEP do padrão D65²²⁷ (ANEXO A) [radiância espectral (mW/m²) por comprimento de onda (nm)] foram inseridos na aba "Data" para definir o valor da Razão Melanópica (R) de cada tipo de céu. A calculadora permite inserir os dados da radiância espectral de acordo com os comprimentos de onda (λ), no valor compreendido entre 380 nm e 860 nm, a cada 5 nm (Figura 63).

Figura 63 – Imagem da tela de cálculo da Razão Melanópica e a aba "Data"

nm	Wavelength (nm)	Spectral Radiance (mW/m²)	Melanopic Equivalent Lux (EML)
380	380	0.000000	0.000000
385	385	0.000000	0.000000
390	390	0.000000	0.000000
395	395	0.000000	0.000000
400	400	0.000000	0.000000
405	405	0.000000	0.000000
410	410	0.000000	0.000000
415	415	0.000000	0.000000
420	420	0.000000	0.000000
425	425	0.000000	0.000000
430	430	0.000000	0.000000
435	435	0.000000	0.000000
440	440	0.000000	0.000000
445	445	0.000000	0.000000
450	450	0.000000	0.000000
455	455	0.000000	0.000000
460	460	0.000000	0.000000
465	465	0.000000	0.000000
470	470	0.000000	0.000000
475	475	0.000000	0.000000
480	480	0.000000	0.000000
485	485	0.000000	0.000000
490	490	0.000000	0.000000
495	495	0.000000	0.000000
500	500	0.000000	0.000000
505	505	0.000000	0.000000
510	510	0.000000	0.000000
515	515	0.000000	0.000000
520	520	0.000000	0.000000
525	525	0.000000	0.000000
530	530	0.000000	0.000000
535	535	0.000000	0.000000
540	540	0.000000	0.000000
545	545	0.000000	0.000000
550	550	0.000000	0.000000
555	555	0.000000	0.000000
560	560	0.000000	0.000000
565	565	0.000000	0.000000
570	570	0.000000	0.000000
575	575	0.000000	0.000000
580	580	0.000000	0.000000
585	585	0.000000	0.000000
590	590	0.000000	0.000000
595	595	0.000000	0.000000
600	600	0.000000	0.000000
605	605	0.000000	0.000000
610	610	0.000000	0.000000
615	615	0.000000	0.000000
620	620	0.000000	0.000000
625	625	0.000000	0.000000
630	630	0.000000	0.000000
635	635	0.000000	0.000000
640	640	0.000000	0.000000
645	645	0.000000	0.000000
650	650	0.000000	0.000000
655	655	0.000000	0.000000
660	660	0.000000	0.000000
665	665	0.000000	0.000000
670	670	0.000000	0.000000
675	675	0.000000	0.000000
680	680	0.000000	0.000000
685	685	0.000000	0.000000
690	690	0.000000	0.000000
695	695	0.000000	0.000000
700	700	0.000000	0.000000
705	705	0.000000	0.000000
710	710	0.000000	0.000000
715	715	0.000000	0.000000
720	720	0.000000	0.000000
725	725	0.000000	0.000000
730	730	0.000000	0.000000
735	735	0.000000	0.000000
740	740	0.000000	0.000000
745	745	0.000000	0.000000
750	750	0.000000	0.000000
755	755	0.000000	0.000000
760	760	0.000000	0.000000
765	765	0.000000	0.000000
770	770	0.000000	0.000000
775	775	0.000000	0.000000
780	780	0.000000	0.000000
785	785	0.000000	0.000000
790	790	0.000000	0.000000
795	795	0.000000	0.000000
800	800	0.000000	0.000000
805	805	0.000000	0.000000
810	810	0.000000	0.000000
815	815	0.000000	0.000000
820	820	0.000000	0.000000
825	825	0.000000	0.000000
830	830	0.000000	0.000000
835	835	0.000000	0.000000
840	840	0.000000	0.000000
845	845	0.000000	0.000000
850	850	0.000000	0.000000
855	855	0.000000	0.000000
860	860	0.000000	0.000000

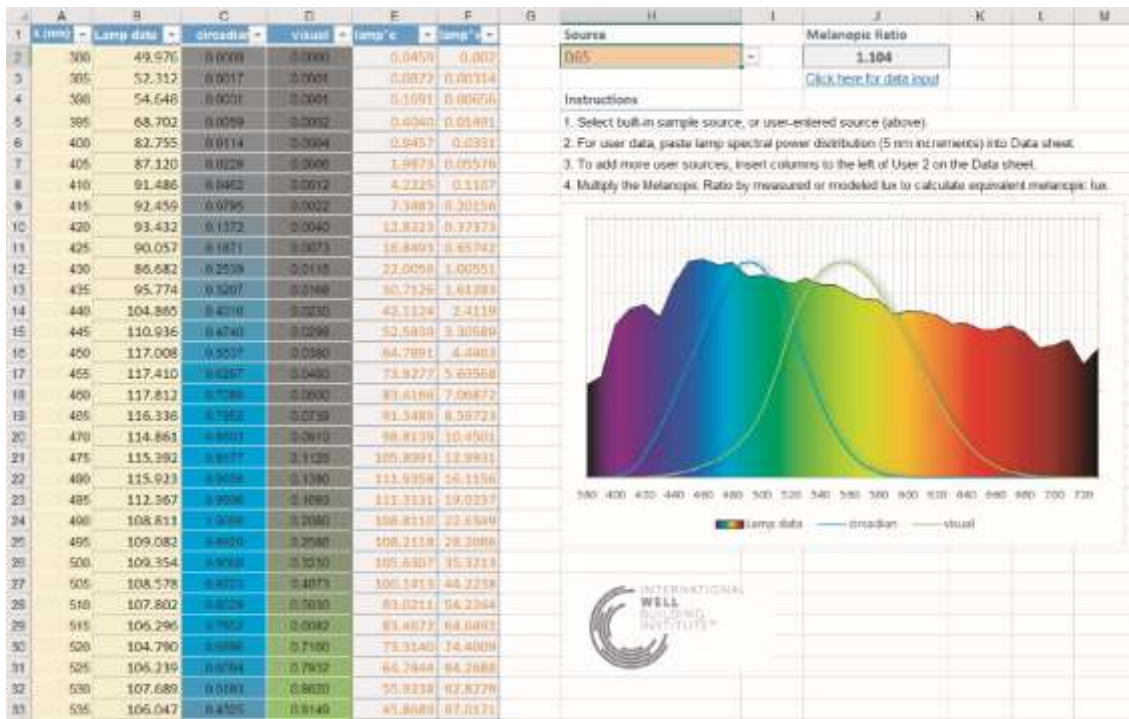
Fonte: adaptado pela autora de IWBI, 2020b.

²²⁶ Aqui se assume que o ambiente não atingiu o mínimo de 2 pontos em "melhorias ao acesso à luz natural" de acordo com a certificação WELL, valor requisitado para que o mínimo do ambiente seja de 120 EML.

²²⁷ Existem divergências sobre qual seria o DEP do céu encoberto. Enquanto a CS Calculator indica que o padrão D75 é o DEP para o céu encoberto (FIGUEIRO; REA; WARD, 2019), a CIE recomenda que o D65 seja utilizado em todos os cálculos colorimétricos em que seja necessário um padrão representante da luz do dia (CIE, 2006). Portanto, optou-se por manter o DEP D65 tanto para o céu encoberto como para o céu claro, seguindo as recomendações da CIE, visto que não se obteve acesso aos dados do D75 e divergem as informações sobre qual seria o padrão DEP exato.

A partir da inserção desses dados, obtemos o valor de *Razão Melanópica (R)*, na aba "Circadian", selecionando a fonte de luz correspondente ao DEP (Figura 64).

Figura 64 – Razão Melanópica e a aba "Circadian"



Fonte: adaptado de IWBI, 2020b.

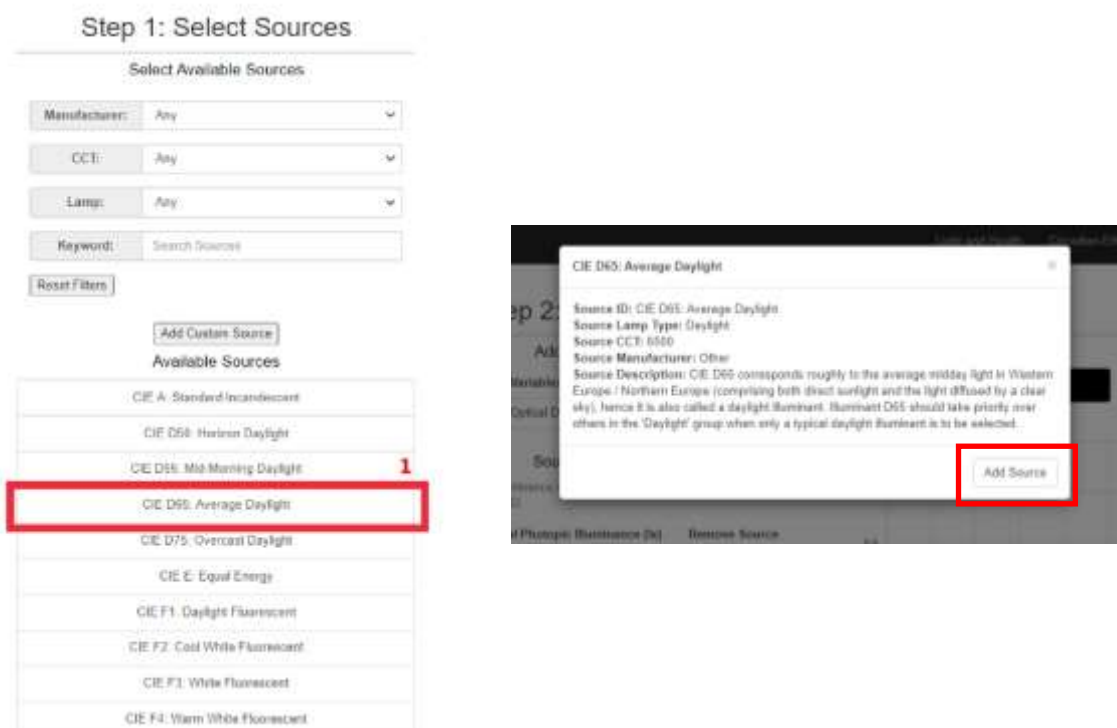
O valor obtido da Razão Melanópica para o DEP D65 é de 1,104.

- Estímulo Circadiano (CS) -

Para definir a iluminância vertical capaz de suprimir a produção de melatonina, foi necessário realizar a conversão do CS na calculadora on-line disponibilizada pelo CS, apresentada no capítulo 4. O procedimento da CS Calculator foi realizado individualmente para o céu claro e para o céu encoberto.

Primeiramente, foi selecionado o DEP relativo ao tipo de céu (D65) para sua inserção na calculadora circadiana, na coluna "Step 1: Select Sources". A seguir, a calculadora solicitou a confirmação de que essa fonte foi a escolhida, devendo ser confirmada a sua adição à calculadora (Figura 65).

Figura 65 – Imagem da CS Calculator - Step1: Select Sources



Fonte: adaptado de FIGUEIRO, GONZALES e PEDLER, 2016.

Inserida a fonte de luz natural na calculadora, iniciou-se a seleção dos dados na coluna “Step 2: Edit variables”. Nas “Additional Variables”, manteve-se o valor de “Macular Pigment Optical Density” com o valor padrão de 0,5 recomendado pelos autores. A seguir, para obtermos o valor de iluminância vertical, adicionamos no “Source Circadian Stimulus” o valor de CS circadianamente ativo: $CS=0,3$. Assim, em “Source Illuminances” aparecerá o valor da Iluminância vertical [Vertical Photopic Illuminance (lx)] para a fonte de luz escolhida.

Figura 66 –CS Calculator: Step 2: Edit Variables



Fonte: adaptado de FIGUEIRO, GONZALES e PEDLER, 2016.

Os valores de iluminâncias verticais capazes de suprimir a produção de melatonina em céu claro e encoberto para o EML são aqueles que forem maiores ou iguais a 136 lux, enquanto para o CS são aquelas que forem maiores ou iguais a 180 lux (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de iluminância vertical que suprimem ou não a produção de melatonina para o céu claro e céu encoberto de acordo com CS e EML

		Céu claro / Céu encoberto	
Iluminâncias verticais	EML	Suprime melatonina	≥ 136 lux
		Não suprime melatonina	0 – 135 lux
	CS	Suprime melatonina	≥ 180 lux
		Não suprime melatonina	0 – 179 lux

Fonte: AUTORA, 2020.

Para a análise de iluminância horizontal, utilizou-se o valor mínimo estabelecido pela norma brasileira de iluminação, apresentado no capítulo 3, de que a iluminância da área de trabalho deve ser igual ou superior a 500 lux²²⁸. Nessa avaliação foram desconsiderados os valores de UGR, pois essa unidade é calculada somente para fontes de luz elétrica (ABNT, 2013a). Existe uma avaliação específica do ofuscamento da luz do sol: a *Annual Sunlight Exposure* ($ASE_{1000 \text{ lux}, 250h}$), explicitada no capítulo 3. Entretanto, essa avaliação não foi efetivada pela impossibilidade de se realizar o cálculo da unidade através do DIALux evo 8.

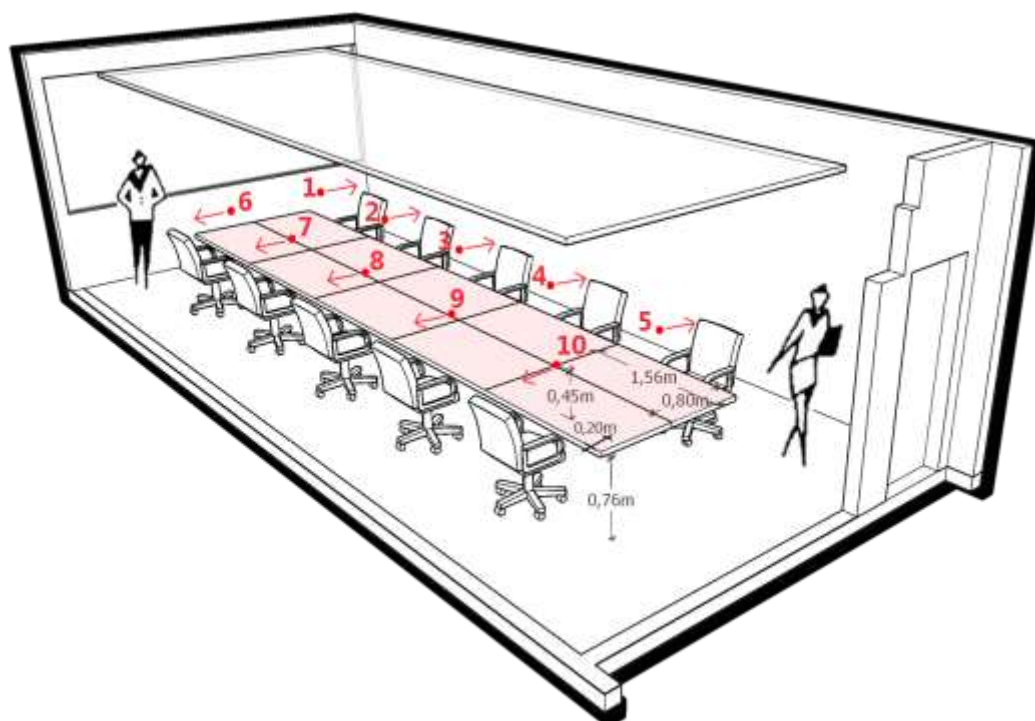
➤ *Definição dos parâmetros de simulação computacional*

Na simulação de iluminação natural, os planos de cálculo foram definidos conforme o posicionamento de cada posto de trabalho, numerados de um a dez. Os números de um a cinco estão relacionados aos postos do lado direito de quem está em frente à abertura para o exterior, sendo o número um o mais próximo à janela e o número cinco o mais distante da janela (lado A). Do lado esquerdo de quem está de frente para a janela, localizam-se os números de seis a dez, sendo o número seis o

²²⁸ Esse valor de iluminância foi utilizado baseando-se na recomendação da iluminância mínima sob o plano de trabalho da norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a), uma vez que não existe uma recomendação brasileira específica quando a fonte de iluminação é a luz natural.

mais próximo à janela e o número dez o mais distante (lado B). Dois planos de cálculo com alturas e disposições diferentes foram gerados. Um plano de cálculo está relacionado à iluminância horizontal na superfície de trabalho de cada um dos dez postos de trabalho, com dimensões de 1,55 m x 0,80 m, a 0,75 m do piso, onde é calculada a sua iluminância média em lux. Para medir a iluminância vertical, localizam-se pontos de referência a 1,20 m em relação ao piso voltados para a direção em que se localiza o olho do usuário, com uma distância de 0,20 m da borda em direção ao centro da mesa (Figura 67).

Figura 67 – Perspectiva de localização dos planos e pontos de cálculo para simulação computacional de iluminação natural



Fonte: AUTORA, 2020.

A refletância dos materiais bem como o VLT do vidro da esquadria estão definidos na seção 5.2.1.

➤ *Tratamento dos dados de simulação computacional para análise descritiva*

Com os parâmetros definidos e a simulação computacional realizada, construiu-se uma *tabela padrão de classificação dos resultados de simulação computacional* (Figura 68). Essa tabela apresenta a iluminância vertical, que é relativa à análise da supressão ou não da melatonina pela iluminação natural no ambiente, e a iluminância horizontal, que apresenta dados relativos à iluminância no plano de trabalho. Os valores dos postos de trabalho estão dispostos em uma vista

de topo da mesa, sendo os postos 1 e 6 os mais próximos à janela. Esses dados são cruzados com os respectivos dias característicos das estações do ano, sendo coloridos na tabela de acordo com a *legenda de classificação*:

- **Verde** – a iluminância vertical **atende** ao valor mínimo recomendado pela métrica circadiana para o horário, e a iluminância horizontal **atende** ao valor mínimo recomendado pela legislação de iluminação brasileira para o conforto visual (atende circadiana / atende visual);
- **Amarelo** – a iluminância vertical **atende** ao valor mínimo recomendado pela métrica circadiana para o horário, e a iluminância horizontal **não atende** ao valor mínimo recomendado pela legislação de iluminação brasileira para o conforto visual (atende circadiana / não atende visual);
- **Laranja** - a iluminância vertical **não atende** ao valor mínimo recomendado pela métrica circadiana para o horário, e a iluminância horizontal **atende** ao valor mínimo recomendado pela legislação de iluminação brasileira para o conforto visual (não atende circadiana / atende visual);
- **Vermelho** - a iluminância vertical **não atende** ao valor mínimo recomendado pela métrica circadiana para o horário, e a iluminância horizontal **não atende** ao valor mínimo recomendado pela legislação de iluminação brasileira para o conforto visual (não atende circadiana / não atende visual).

Figura 68 – Modelo de tabela de apresentação de resultados dos postos de trabalho das 8h às 18h de iluminância vertical e horizontal decorrentes da simulação computacional por orientação solar e período de equinócios ou solstícios

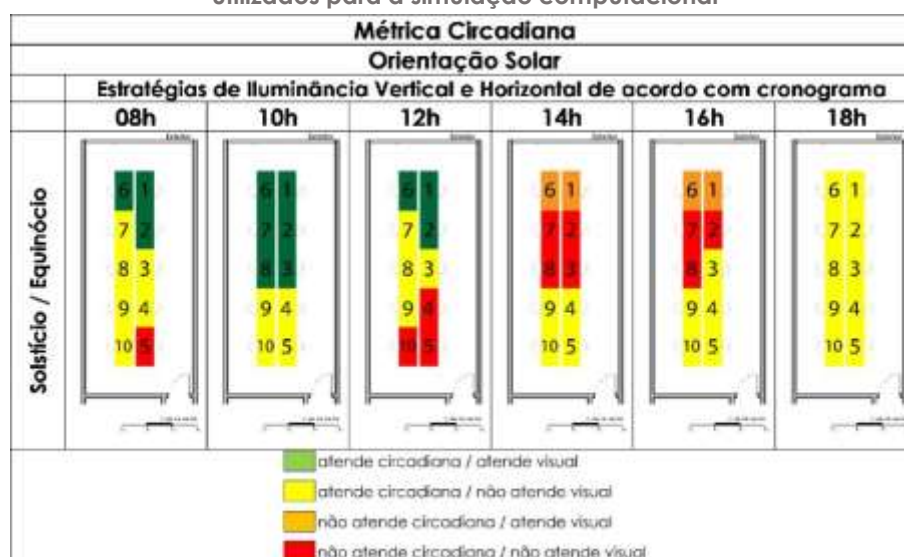
		Métrica Circadiana													
		Orientação Solar													
		Recomendação de Iluminância Vertical e Horizontal													
Posto	Hora	8h		10h		12h		14h		16h		18h			
		N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A		
1a. Etapa / Equinócio 2a. Etapa / Solstício 3a. Etapa / Equinócio 4a. Etapa / Solstício 5a. Etapa / Equinócio 6a. Etapa / Solstício 7a. Etapa / Equinócio 8a. Etapa / Solstício 9a. Etapa / Equinócio 10a. Etapa / Solstício	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
	8														
	9														
	10														

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

A partir dessa tabela síntese de resultados, foi desenvolvido um *diagrama visual de apresentação dos resultados de acordo com a legenda de classificação*, relacionando os resultados numéricos, o projeto arquitetônico, as estratégias de acordo com cronograma da métrica e os postos de trabalho com a legenda de classificação (Figura 69).

Figura 69 – Modelo de diagrama visual de apresentação dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação para cada posto de trabalho nos horários utilizados para a simulação computacional



Fonte: AUTORA, 2020.

Com o objetivo de trazer uma melhor compreensão para a matriz de visualização dos resultados de simulação computacional, as legendas de classificação foram representadas em resultados numéricos. Determinaram-se valores para cada posto de trabalho, numerados de 1 a 10, que representam 10% da soma total da área do plano de trabalho. Somam-se os percentuais dos postos de trabalho de acordo com as classificações apresentadas na Figura 70, sendo apresentados em uma *tabela com os resultados percentuais por legenda de classificação*.

Figura 70 – Modelo de tabela com os resultados percentuais do número de postos de trabalho atendidos por ano em cada horário para equinócio ou solstício em cada orientação solar por legenda de classificação

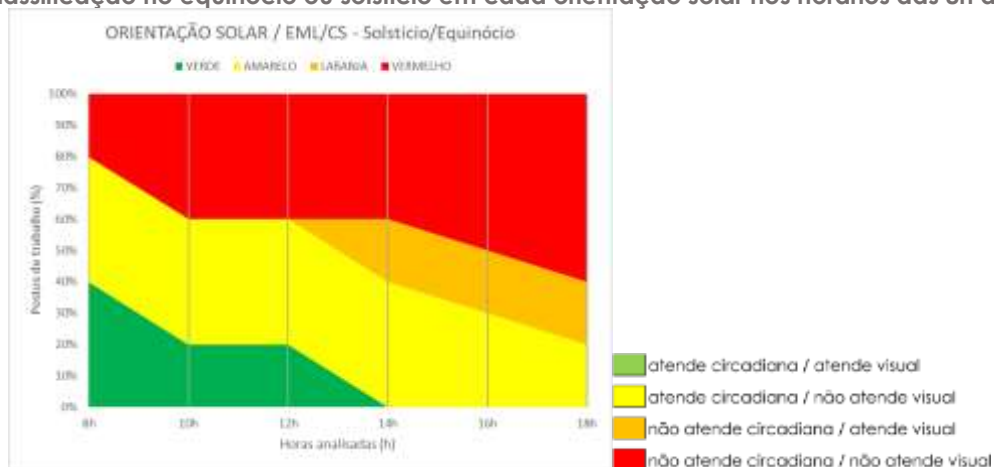
	Equinócio / Solstício					
	Orientação Solar					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
VERDE	%	%	%	%	%	%
AMARELO	%	%	%	%	%	%
LARANJA	%	%	%	%	%	%
VERMELHO	%	%	%	%	%	%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Os resultados da *tabela com resultados percentuais* foram transformados posteriormente em *gráficos de percentuais empilhados* (Figura 71), possibilitando uma análise visual mais sintética dos resultados.

Figura 71 – Modelo de apresentação dos resultados com gráficos de percentuais empilhados com os resultados percentuais do número de postos de trabalho classificados de acordo com a legenda de classificação no equinócio ou solstício em cada orientação solar nos horários das 8h às 18h



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *Resultados de simulação computacional e estratégia de intervenção para atingir o mínimo recomendado pela métrica para o horário especificado*

A partir dos gráficos de percentuais empilhados, realiza-se uma síntese de quais os percentuais de postos de trabalho por horários e estação do ano apresentam a E_v mínima para atender aos requisitos determinados pelas métricas circadianas de acordo com o cronograma e qual a E_H mínima para atender aos requisitos da norma brasileira de iluminação. Esses dados são apresentados em uma tabela (Figura 72), classificada com a *legenda de análise de intervenção*:

- **Rosa claro** - o percentual de postos de trabalho que necessita de intervenção para atender ao requisito de iluminância vertical/horizontal para o horário especificado está entre 0% e 40% (intervenção pequena);
- **Rosa escuro** - o percentual de postos de trabalho que necessita de intervenção para atender ao requisito de iluminância vertical/horizontal para o horário especificado está entre 50% e 70% (intervenção média);
- **Roxo** - o percentual de postos de trabalho que necessita de intervenção para atender ao requisito de iluminância vertical/horizontal para o horário especificado é maior que 80% (intervenção grande).

Figura 72 – Modelo de tabela com os resultados percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção em sua E_v e E_m classificados de acordo com a legenda de análise de intervenção no equinócio e solstícios em cada orientação solar nos horários das 8h às 18h

		LESTE, NORTE, OESTE E SUL				
		CÉU ENCOBERTO / CLARO				
		Postos de trabalho (%)			Estratégia para intervenção	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)	
EML	08h	%	%	%	↑	
	10h	%	%	%		
	12h	%	%	%		
	14h	%	%	%		
	16h	%	%	%		
	18h	%	%	%		
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)	
CS	08h	%	%	%	↑	
	10h	%	%	%		
	12h	%	%	%		
	14h	%	%	%		
	16h	%	%	%		
	18h	%	%	%		
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância horizontal (lux)	
ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013a)	08h	%	%	%	↑	
	10h	%	%	%		
	12h	%	%	%		
	14h	%	%	%		
	16h	%	%	%		
	18h	%	%	%		

Intervenção pequena (0% - 40%)

Intervenção média (50% - 70%)

Intervenção grande (> 80%)

Fonte: AUTORA, 2020.

Com todas as tabelas definidas, pode-se determinar qual seria a orientação solar e o período do ano que ficam com os percentuais mais próximos de atender aos requisitos mínimos da norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a), do EML e do CS, possibilitando a discussão da importância da iluminação natural no processo de iluminação integrativa.

5.2.3 Estudo de caso – Fase 02: análise de projeto de iluminação elétrica convencional do escritório hipotético a partir das ferramentas de conversão de unidades propostas pelo EML e pelo CS

O estudo de caso - fase 02 buscou analisar um projeto de iluminação elétrica convencional desenvolvido com base nas recomendações da norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a) para o ambiente hipotético a partir das ferramentas de conversão de unidades propostas pelo EML e pelo CS para o desenvolvimento de uma iluminação integrativa, investigando as diferenças e similaridades entre seus

métodos e sensibilidades. A metodologia cumpriu a sequência de procedimentos a seguir:

➤ *Desenvolvimento do projeto luminotécnico convencional do escritório o segundo a norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a)*

No escritório em que se realizou a análise da iluminação natural, foi desenvolvido um projeto luminotécnico convencional que atendesse a todos os requisitos mínimos da norma brasileira de iluminação. Os requisitos mínimos de iluminância no plano de trabalho bem como os parâmetros para o desenvolvimento do plano de cálculo para a avaliação do ambiente estão descritos no capítulo 3.

Para o projeto do ambiente, foi determinada uma luminária LED descendente (*downlight*) de distribuição direta²²⁹ que tem a possibilidade de alterar a sua TCC, embutida no forro “nuvem”²³⁰. As características da luminária foram escolhidas para representar um dos tipos mais comuns de luminárias existentes no mercado²³¹. As características das luminárias estão descritas na Tabela 5 e o seu arquivo *ies*²³² foi disponibilizado pelo fabricante da luminária.

Tabela 5 – Especificações da luminária LED utilizada no projeto convencional

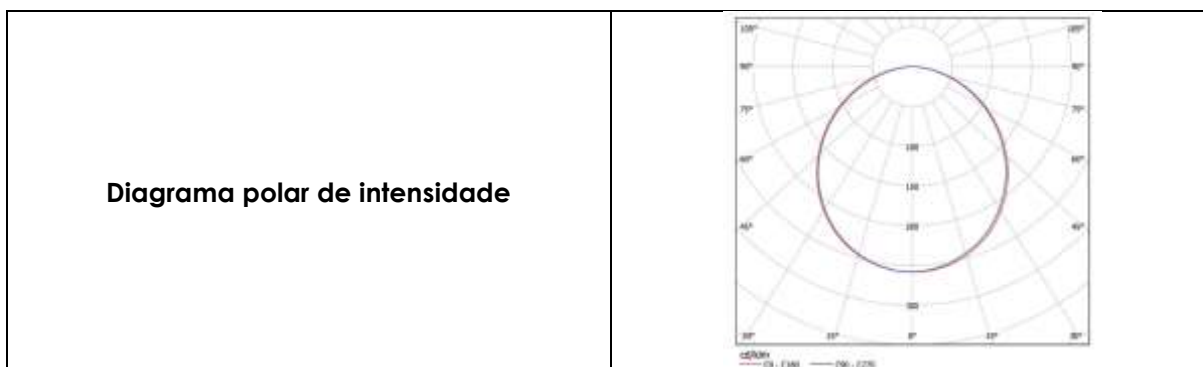
Luminária LED de distribuição direta de embutir	
Potência	40 W
Fluxo Luminoso	4407 lm
Rendimento	87 %
Eficiência	112 lm/W
Temperaturas de cor	2700 K, 3000 K, 4000 K, 5000 K, 6500K
Índice de Reprodução de Cor	80
Dimensões	618 x 618 x 70 mm
Fator de manutenção	0,8

²²⁹ A luminária de distribuição direta (*downlight*) é aquela que apresenta entre 90-100% de saída de luz descendente. A distribuição pode variar de ampla até extremamente concentrada (DILAURA et al., 2011, p. 8.6-8.7). As características das luminárias utilizadas nesta dissertação foram disponibilizadas por um fabricante, em conjunto com suas características de DEP de diferentes temperaturas de cor.

²³⁰ O forro de gesso em nuvem é uma estrutura de forro que fica suspensa no teto, não cobrindo por completo a laje superior. Pode ser disposto de diversas formas e alturas e pode ser feito de materiais como gesso, fibra de vidro ou poliuretano.

²³¹ Segundo Innes (2014, p. 63), as luminárias descendentes (*downlight*) embutidas em forro são os tipos mais comuns de luminária em situações de arquitetura.

²³² O arquivo *ies* é um arquivo para simulação computacional no qual todas as características da Tabela 7 estão predeterminadas para a leitura do simulador. Usualmente, esse arquivo é disponibilizado pelo fabricante da luminária para que se possa ter uma maior precisão na avaliação do projeto luminotécnico.

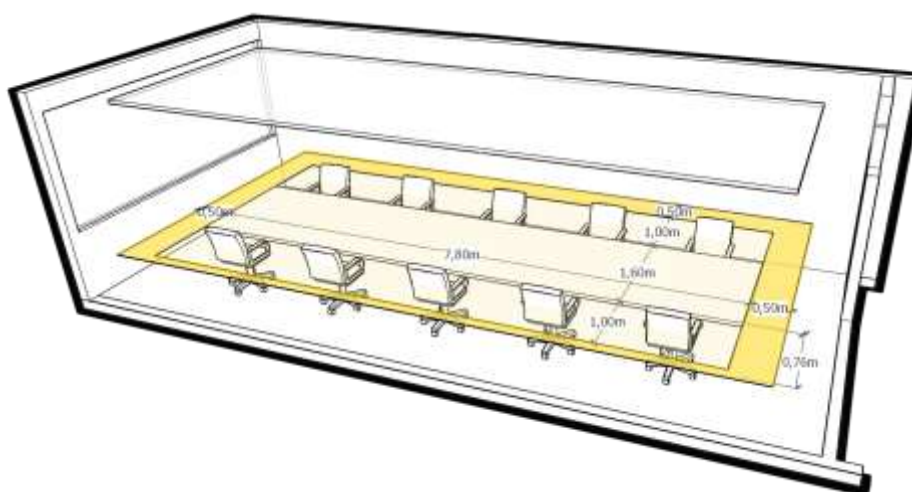


Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *Parâmetros para simulação computacional*

O projeto luminotécnico foi desenvolvido em conjunto com a simulação, na qual foram construídos dois planos de cálculo para realizar a medição da iluminância horizontal (Figura 73), que se localizam a 0,76 m do piso acabado (acima da superfície de trabalho). O primeiro plano de cálculo (principal) tem dimensões de 3,60 m x 7,80 m, pois, como recomendado pela norma, os espaços das estações de trabalho (área de tarefa) compreendem também a circulação de, pelo menos, 1 m do final da mesa (superfície de trabalho). O segundo plano de cálculo foi adicionado com 0,50 m do plano de cálculo principal, com exceção do plano de cálculo próximo à parede que possibilitou um plano de 0,15 m. No DIALux evo 8, esses mesmos planos de cálculo estabelecem uma média de uniformidade, outro requisito da norma brasileira.

Figura 73 - Perspectiva de localização dos planos de cálculo no ambiente hipotético de acordo com a norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a) para projeto luminotécnico



Fonte: AUTORA, 2020.

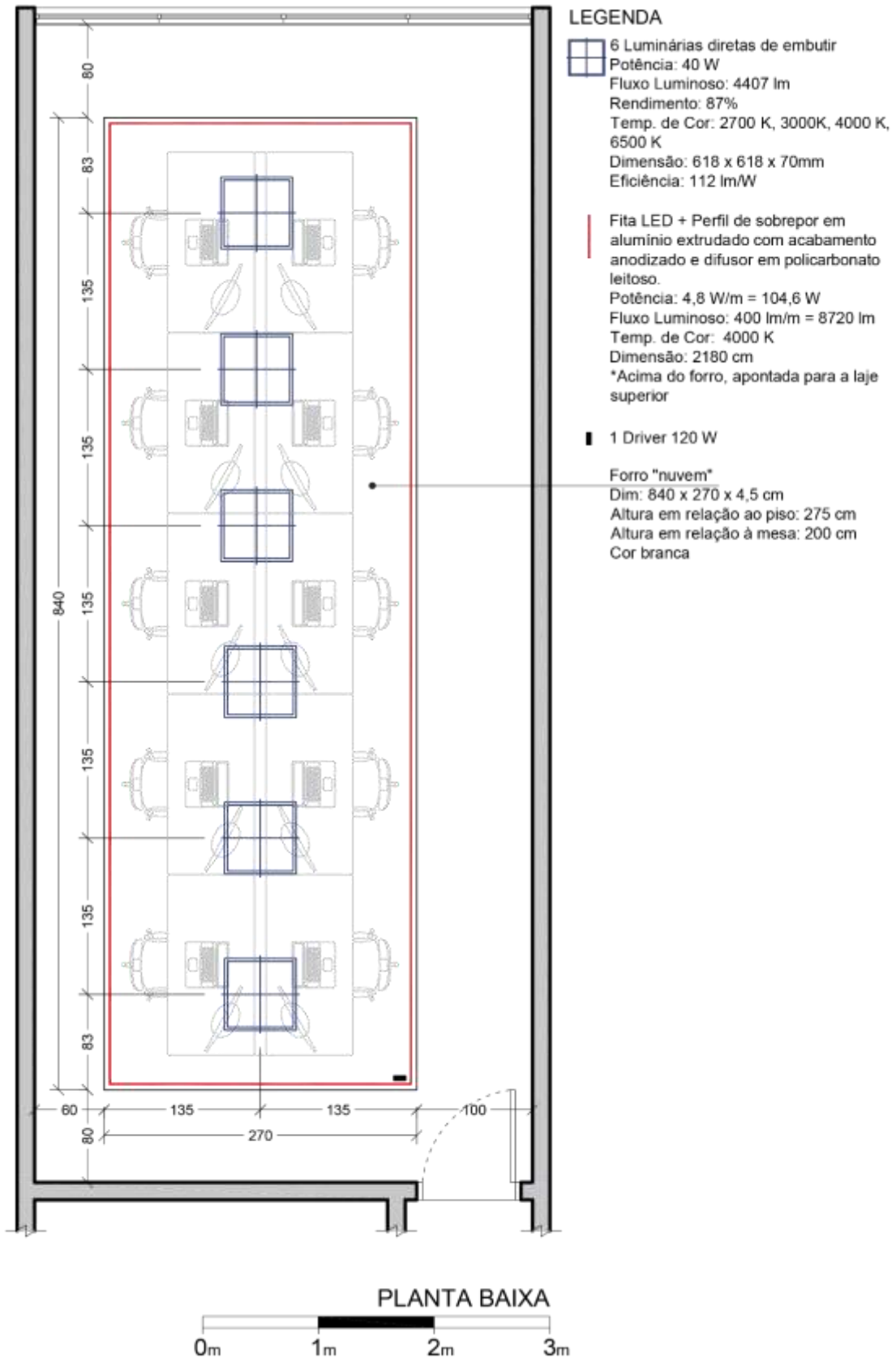
Em conjunto, foram criados pontos de cálculo que medem a iluminância vertical e o UGR, outro requisito da norma. Esses pontos estão dispostos da mesma maneira que na simulação de iluminação natural (Figura 67). Os materiais utilizados na simulação computacional foram os mesmos utilizados na fase 01 do estudo de caso.

A partir desses dados, foi desenvolvido um projeto luminotécnico convencional que atende aos requisitos mínimos da norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a), o qual está apresentado na Figura 74 e em seu relatório de simulação no APÊNDICE F.

➤ *Projeto luminotécnico convencional para análise a partir do EML e do CS*

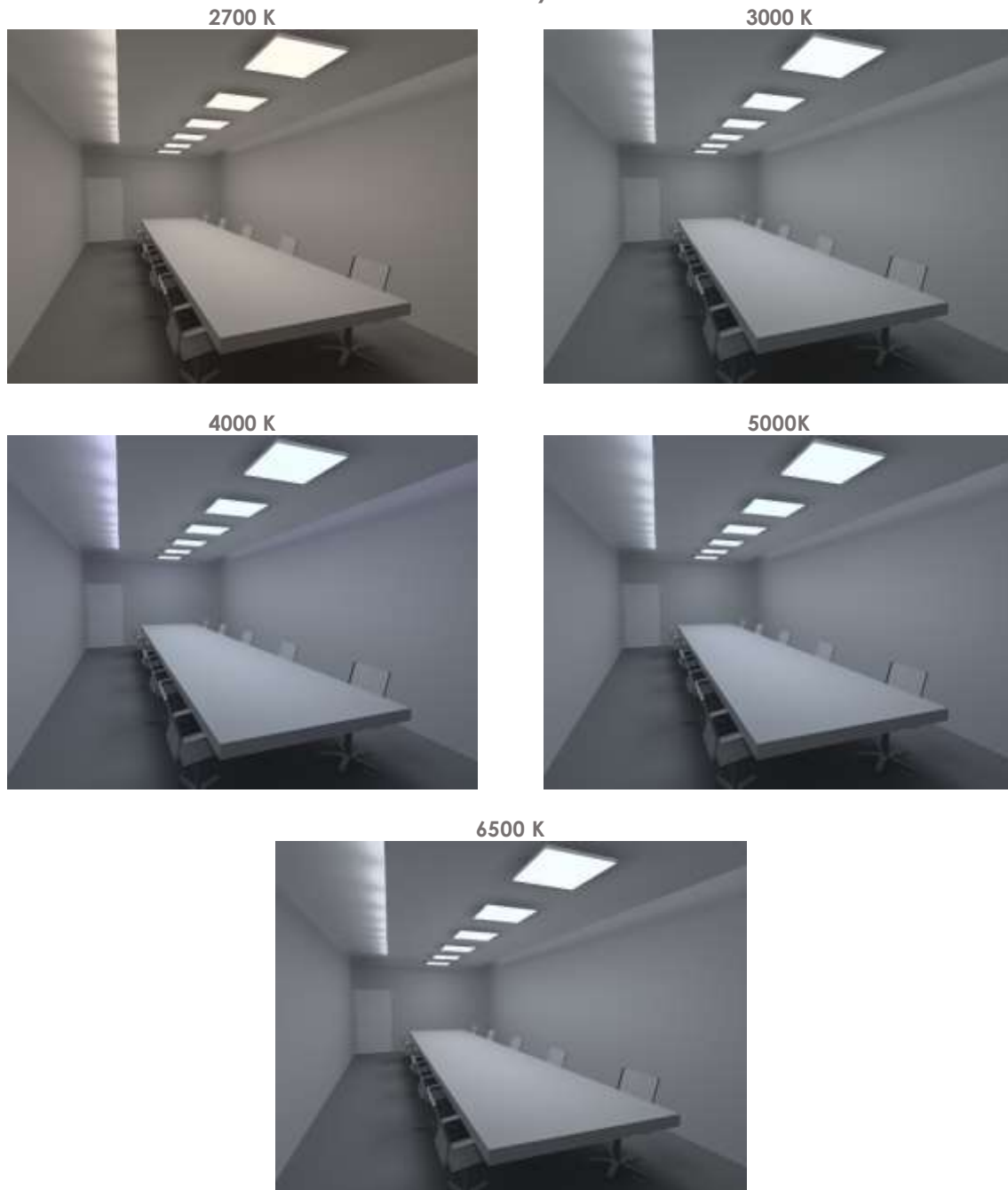
Para atender aos requisitos da norma de iluminação vigente, foram necessárias seis luminárias, com uma distância de 1,35 m entre seus eixos e de 0,83 m do eixo da luminária para a borda lateral do forro. As luminárias estão instaladas no eixo central do forro a 2,75 m de altura do piso e a 2,00 m da superfície de trabalho. Para complementar a iluminação e atingir os índices mínimos de UGR, foi necessário adicionar uma fita LED acima do forro nuvem, apontada para a laje superior, de 4,8 W/m e TCC de 4000 K. Entretanto, para a conversão das iluminâncias verticais (E_v) de cada posto de trabalho analisado, somente o DEP da TCC da luminária direta (localizada acima do observador) será considerada (Figura 74 e Figura 75).

Figura 74 - Projeto luminotécnico para o escritório administrativo hipotético que atende aos requisitos da norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a)



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 75 – Perspectivas de simulação computacional do projeto luminotécnico para o escritório administrativo hipotético que atende aos requisitos da norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a)

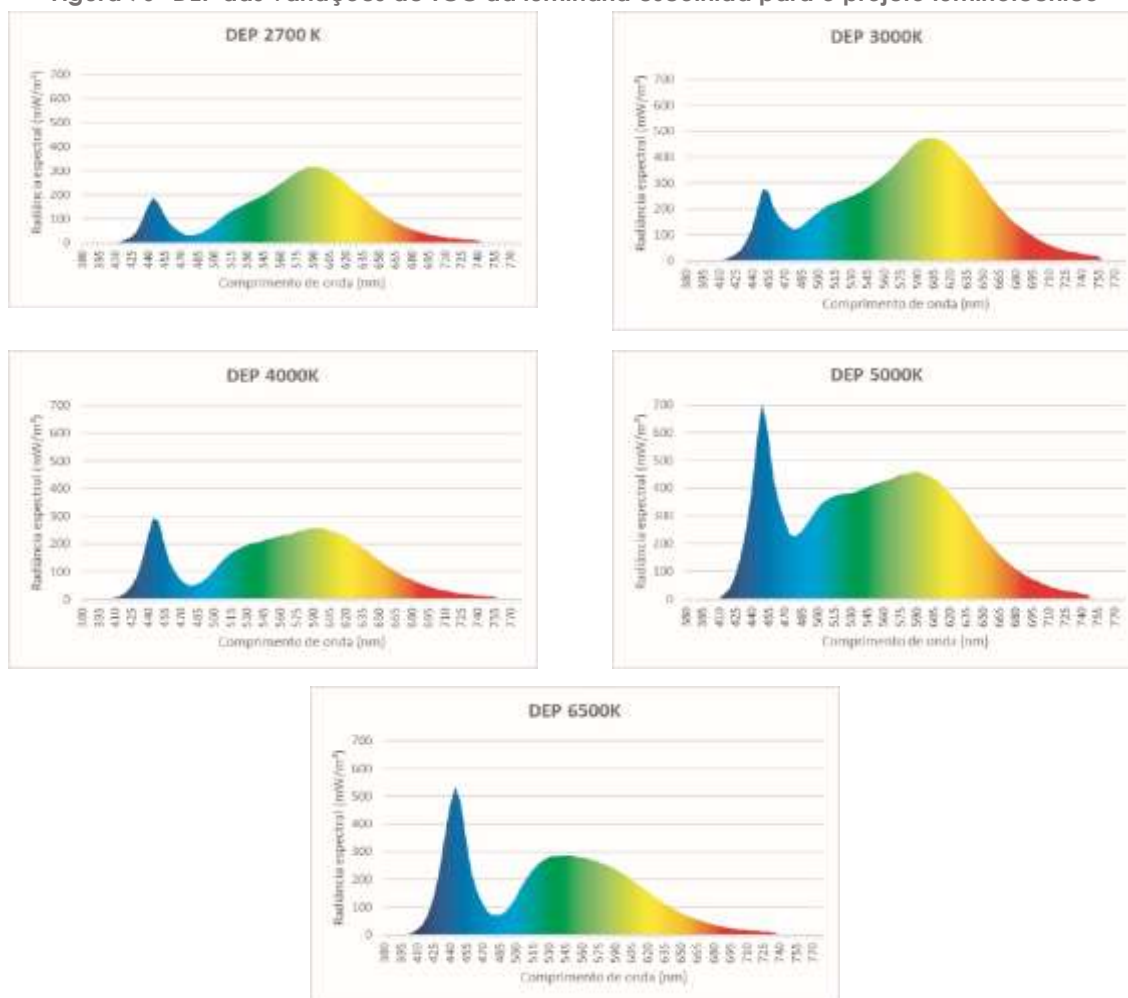


Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *Conversão dos valores de iluminância vertical em valores do EML e CS*

A distribuição espectral de potência radiante (DEP) é essencial para se realizar a conversão dos valores de iluminância vertical em unidades de métricas circadianas. Por isso, utilizaram-se os DEP específicos dessa luminária (ANEXO B), possibilitando inseri-la nas calculadoras circadianas (Figura 76).

Figura 76 - DEP das variações de TCC da luminária escolhida para o projeto luminotécnico



Fonte: AUTORA, 2020.

Os procedimentos para cada métrica foram realizados de forma distinta, seguindo as etapas a seguir:

- EML –

Para a conversão dos valores de iluminância do EML, foi necessário inserir, uma de cada vez, os DEP de 2700 K, 3000 K, 4000 K, 5000K e 6500 K da luminária de projeto na calculadora *Razão Melanópica* (descrita no capítulo 4) na aba "Data" visando definir o valor de *Razão Melanópica (R)* relativo a cada TCC da luminária escolhida para o projeto (Figura 77). Os valores da DEP utilizados na calculadora estão detalhados no ANEXO B.

O valor da Razão Melanópica (R) para a luminária LED na TCC de 2700 K é de 0,454; em 3000 K é de 0,574; em 4000K é de 0,640; em 5000 K é de 0,871; e em 6500 K é de 0,860.

A partir dos valores de iluminância vertical (L) dos postos de trabalho obtidos na simulação computacional, poderemos calcular o valor de EML. Esse valor será convertido a partir da fórmula 5 apresentada na seção 4.2.3.1.

- CS -

Para a conversão dos valores de iluminância do CS, foi necessário inserir os DEP de 2700 K, 3000 K, 4000 K, 5000 K e 6500 K da luminária de projeto (Tabela 5) na CS *Calculator online* (descrita na seção 4.2.4.1). O procedimento é realizado em "Step 1: Select Sources" em "Add Custom Source". A calculadora abre uma aba para inserir os dados relativos à luminária, como nome, fabricante, temperatura de cor (TCC), tipo de lâmpada e DEP. Inseriu-se o DEP (de cada TCC individualmente) em duas colunas: uma relativa ao comprimento de onda (λ); e a outra, aos valores de irradiância espectral (Figura 79).

Figura 79 --Adição de DEP da Luminária LED 4000 K do Step:1 da calculadora da CS: a Web CS Calculator

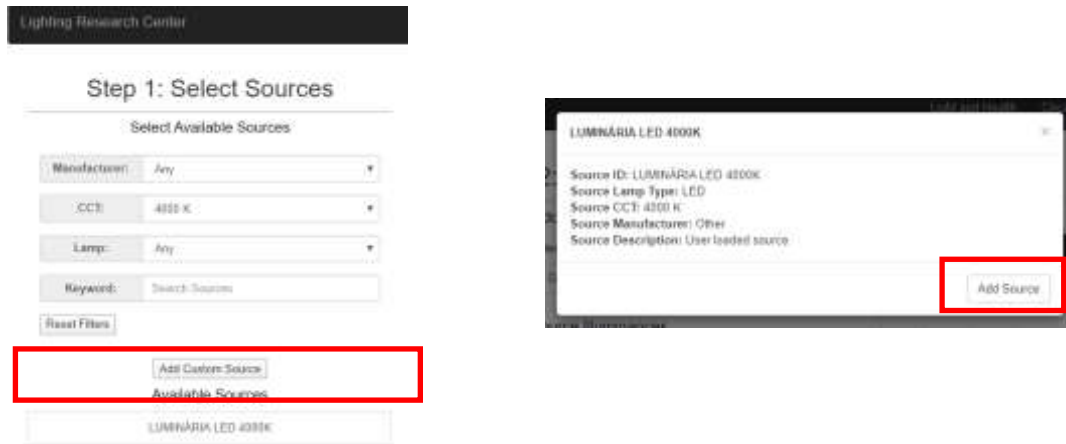
The image shows two parts of the 'Web CS Calculator' interface. On the left is the 'Step 1: Select Sources' page, which includes filters for Manufacturer, CCT, Lamp, and Keyword, along with an 'Add Custom Source' button highlighted with a red box. On the right is the 'Custom Source' form, which is pre-filled with the following data:

Source Name:	LUMINÁRIA LED 4000K										
Manufacturer:	Other										
CCT (K):	4000 K										
Lamp Type:	LED										
Spectral Power Distribution (SPD):	<table border="1"> <tr> <td>405</td> <td>33.2112</td> </tr> <tr> <td>498</td> <td>35.93537</td> </tr> <tr> <td>495</td> <td>46.77719</td> </tr> <tr> <td>500</td> <td>52.99795</td> </tr> <tr> <td>505</td> <td>58.03084</td> </tr> </table>	405	33.2112	498	35.93537	495	46.77719	500	52.99795	505	58.03084
405	33.2112										
498	35.93537										
495	46.77719										
500	52.99795										
505	58.03084										

Fonte: adaptado de FIGUEIRO, GONZALES e PEDLER, 2016.

Assim, novamente em *Step 1: Select Sources*, procurando pelo nome da luminária, foi inserida essa fonte de luz na calculadora (Figura 80).

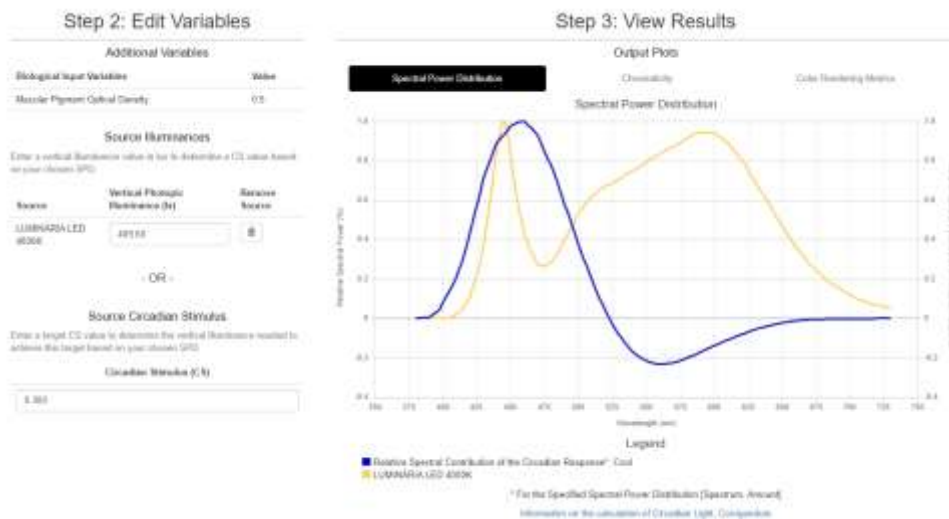
Figura 80 – Escolha da fonte de luz para cálculo em “Available sources” calculadora da CS: a Web CS Calculator



Fonte: adaptado de FIGUEIRO, GONZALES e PEDLER, 2016.

Para verificar quais seriam as iluminâncias verticais circadianamente ativas, adicionaram-se as iluminâncias verticais geradas pela simulação computacional nos postos de trabalho na calculadora em “Source Illuminances – Vertical Photopic Illuminance (lux)”. Conforme explicitado no capítulo 4, os valores circadianamente ativos são aqueles com $CS \geq 0,3$. Além disso, a calculadora proporcionou a visualização do valor circadianamente ativo, adicionando o $CS = 0,3$ em “Source Circadian Stimulus”, permitindo que se pudesse avaliar o projeto igualmente a partir das iluminâncias verticais (Figura 81).

Figura 81 – Adição de $CS=0,3$ em “Source Circadian Stimulus” para determinar iluminância vertical circadianamente ativa na Web CS Calculator



Fonte: adaptado de FIGUEIRO, GONZALES e PEDLER, 2016.

- Apresentação dos resultados de iluminância vertical e as conversões em unidades circadianas do EML e CS

Os valores das iluminâncias verticais medidas em simulação computacional nos postos de trabalho e seus respectivos valores em unidades circadianas serão dispostos em uma *tabela padrão de classificação dos resultados de simulação computacional* (Figura 82). Esses dados foram coloridos na tabela de acordo com a legenda de classificação apresentada na Fase 01.

Figura 82 – Modelo de tabela para apresentação dos resultados de iluminância vertical por posto de trabalho da iluminação elétrica e as suas conversões em unidades de EML e CS

TCC							
A	B	Iluminância Vertical (lux)		EML		CS	
6	1	369	376	150	150	0.300	0.300
7	2	447	453	150	150	0.300	0.300
8	3	462	467	150	150	0.300	0.300
9	4	451	458	150	150	0.300	0.300
10	5	385	391	150	150	0.300	0.300

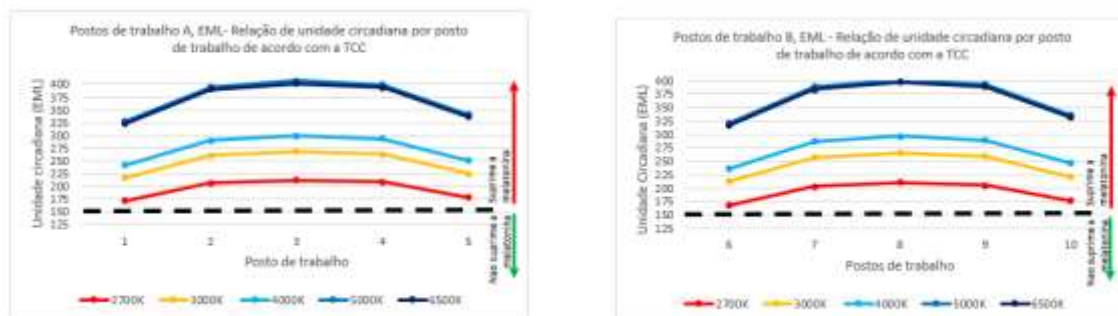
■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

- Estratégia de análise dos resultados apresentados

Foi realizada uma **análise descritiva** dos resultados das tabelas de conversão da E_v mensurada nos postos de trabalho em cada TCC disponibilizada pela fonte de luz do projeto convencional. A partir da unificação de seus resultados em um único gráfico (Figura 83), separados em lado A e lado B e em EML ou CS, analisam-se quais são as E_v que suprimem ou não a melatonina. Verificam-se quais são as TCC (com seu respectivo DEP) ideais para cada horário de trabalho, descrevendo as estratégias de projeto para que uma iluminação integrativa seja realizada. Por fim, comparam-se as semelhanças e as diferenças dos resultados obtidos através do EML e do CS.

Figura 83 – Modelo de gráfico para apresentação dos resultados da conversão dos valores de iluminância vertical nas unidades de EML e CS



Fonte: AUTORA, 2020



SALA DE ESCRITÓRIO COM ILUMINAÇÃO NATURAL E ELÉTRICA. / FOTO: UNSPLASH

6. RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados de simulação computacional de iluminação natural (fase 01) e elétrica (fase 02).

6.1 Fase 01: avaliação do comportamento da iluminação natural no escritório administrativo hipotético através dos requisitos visuais e não visuais

Os resultados de iluminância vertical e horizontal por posto de trabalho, presentes no APÊNDICE B, foram tratados e transformados em tabelas com células coloridas de acordo com a classificação da legenda determinada na metodologia para a síntese de resultados de simulação computacional e para a definição da estratégia de intervenção a fim de atingir o mínimo recomendado pela métrica especificamente para o horário.

6.1.1 Céu encoberto

A partir da Tabela 6, podem-se identificar alguns parâmetros necessários para a concepção da iluminação integrativa para o céu encoberto.

➤ *Solstício de inverno*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 100% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 12h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 14h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média; às 16h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 100% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 12h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 14h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média; às 16h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 10h, enquanto para o EML necessita-se de uma intervenção grande em 60% dos postos de trabalho, para o CS necessita-se de uma intervenção grande em 80% dos postos de trabalho; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam uma intervenção média às 14h (40%) e pequena às 16h (20%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção grande às 14h (70%) e 16h (80%).

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 100% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; das 10h às 14h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 16h e às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Equinócio*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 12h, 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média; às 16h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, às 12h e às 14h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 16h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 12h, para o EML (50%) necessita-se de uma intervenção média, enquanto para o CS (60%) necessita-se de uma intervenção grande; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, o EML às 14h (40%) e às 16h (40%) apresenta uma intervenção média, enquanto o CS às 14h (60%) e às 16h (80%) apresenta uma intervenção grande.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 90% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; das 10h às 16h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Solstício de verão*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h e às 10h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 16h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 12h, 14h e 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 12h, enquanto para o EML (40%) necessita-se de uma intervenção média, para o CS (60%) necessita-se de uma intervenção grande; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a

estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam uma intervenção grande às 14h (60%) e uma intervenção média às 16h (40%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção grande nos dois horários (60%).

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 16h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

Tabela 6 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu encoberto nos horários das 8h às 18h para todas as orientações solares nos equinócios e solstícios

		LESTE, NORTE, OESTE E SUL			
		CÉU ENCOBERTO			
		Postos de trabalho (%)			Estratégia para intervenção
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
EML	08h	100%	80%	60%	↑ ↓
	10h	60%	60%	60%	
	12h	60%	50%	40%	
	14h	40%	40%	60%	
	16h	20%	40%	40%	
	18h	0%	0%	20%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
CS	08h	100%	80%	70%	↑ ↓
	10h	80%	60%	60%	
	12h	60%	60%	60%	
	14h	70%	60%	60%	
	16h	80%	80%	60%	
	18h	0%	0%	20%	
		Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância horizontal (lux)
ABNT NBR 90/CIE 899 S-1 (2013#)	08h	100%	50%	80%	↑
	10h	80%	80%	80%	
	12h	80%	80%	80%	
	14h	80%	80%	80%	
	16h	100%	80%	80%	
	18h	100%	100%	100%	

Intervenção pequena (0% - 20%)

Intervenção média (30% - 50%)

Intervenção grande (> 60%)

Fonte: AUTORA, 2020.

Para o EML, existe um predomínio da necessidade de intervenções grandes (>60%) na iluminação para atender aos requisitos mínimos determinados para o horário e de poucas intervenções médias no horário das 8h às 12h ao longo do ano. Para o CS, existe o predomínio da necessidade de intervenções grandes na iluminação para atender aos requisitos mínimos determinados para o horário nesse mesmo período. Às 14h e às 16h, para o EML, existe o predomínio da necessidade de intervenções médias para atingir o máximo requisitado pela métrica, enquanto para

o CS existe o predomínio da necessidade da intervenção grande a fim de atingir o mínimo recomendado pela métrica para esse horário. Às 18h, para o EML e para o CS, existe o predomínio da necessidade de intervenção mínima. Para a norma brasileira de iluminação ao longo do ano, das 8h às 18h, existe o predomínio da necessidade da intervenção grande com o objetivo de atingir o mínimo recomendado pela norma para esse horário.

Portanto, a iluminação natural no céu encoberto nas orientações leste, norte, oeste e sul apresenta diferentes necessidades de intervenções para atender aos requisitos não visuais mínimos determinados pelas métricas circadianas, o EML e o CS, e aos requisitos visuais mínimos determinados a partir da métrica visual, como esperado. Tanto para o EML como para o CS, essa condição de céu e de iluminação natural não atende aos requisitos mínimos de iluminação integrativa, como também não atende aos requisitos visuais de iluminação.

6.1.2 Céu Claro

Os resultados para céu claro dependem da orientação solar, pois o céu claro tem uma luminância relativamente baixa, sendo que o céu é mais brilhante perto do horizonte devido à dispersão de partículas. Por isso, são apresentados, de acordo com a orientação solar, a época do ano (solstício ou equinócio) e os horários do dia determinados para a análise. Os resultados de luminância vertical e horizontal por posto de trabalho, presentes no APÊNDICE C (leste), APÊNDICE D (norte), APÊNDICE E (oeste) e APÊNDICE F (sul), foram tratados e transformados em tabelas com células coloridas conforme a classificação da legenda determinada na metodologia para a síntese de resultados de simulação computacional e estratégia de intervenção visando atingir o mínimo recomendado pela métrica para o horário especificado.

Portanto, este capítulo apresenta os resultados de análise de qual seria a melhor estratégia para que a E_v e a E_H fossem as mais adequadas para atender aos requisitos mínimos recomendados para o EML e o CS, permitindo avaliar qual seria a orientação solar mais adequada para atender, em mais postos de trabalho, ao requisito não visual e visual para esse ambiente específico.

6.1.2.1 Leste

A partir da Tabela 7, podem-se identificar alguns parâmetros necessários para a concepção da iluminação integrativa para o céu claro na orientação leste.

➤ *Solstício de inverno*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 10% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 10h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h, 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 16h, 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 10h, 10% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média; às 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 8h, enquanto para o EML necessita-se de intervenção pequena em 10% dos postos de trabalho, para o CS necessita-se de uma intervenção média em 30% dos postos de trabalho; às 10h, enquanto para o EML nenhuma intervenção é necessária, para o CS necessita-se de uma intervenção pequena em 10% dos postos de trabalho; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam intervenção grande de 60% às 14h e intervenção média de 50% às 16h, enquanto para o CS apresentam uma intervenção média de 50% às 14h e intervenção grande de 60% às 16h.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção média; às 12h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 14h e às 16h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Equinócio*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h e às 10h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_V elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h, 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V elevada, gerando uma intervenção média; às 14h e às 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_V elevada, gerando uma intervenção pequena; às 10h, 10% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h e às 14h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V elevada, gerando uma intervenção média; às 16h, 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V elevada, gerando uma intervenção média; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_V atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 10h, enquanto para o EML nenhum posto de trabalho necessita de intervenção, para o CS 10% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h, enquanto para o EML 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V elevada, para o CS 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_V elevada, gerando ambos uma intervenção média; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_V para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_V . Por isso, para o EML esses horários apresentam uma

intervenção grande às 14h (60%) e às 16h (60%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção média às 14h (40%) e às 16h (50%).

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção pequena; às 10h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção média; às 12h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; das 10h às 16h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Solstício de verão*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h e às 10h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h, 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h e às 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 10h, 10% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h, 14h e 16h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 10h, enquanto para o EML não existe a necessidade de intervenção, para o CS (10%) necessita-se de uma intervenção pequena; às 12h, enquanto para o EML existe a necessidade de intervenção média em 30% dos postos de trabalho, para o CS necessita-se de uma intervenção média em 40% deles; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam

uma intervenção grande às 14h (60%) e às 16h (60%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção média às 14h (40%) e às 16h (40%).

Para atender aos requisitos mínimos do horário para métrica visual no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção pequena; às 10h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção média; às 12h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; das 14h às 18h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

Tabela 7 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h na orientação leste nos equinócios e solstícios

		LESTE			
		CEU CLARO			
		Postos de trabalho (%)			Estratégia para intervenção
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
EML	08h	10%	0%	0%	↑
	10h	0%	0%	0%	
	12h	30%	30%	30%	
	14h	60%	60%	60%	
	16h	50%	60%	60%	
	18h	0%	20%	50%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
CS	08h	30%	0%	0%	↑
	10h	10%	10%	10%	
	12h	40%	40%	40%	
	14h	50%	40%	40%	
	16h	60%	50%	40%	
	18h	0%	20%	40%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância horizontal (lux)
ABNT NBR 50/CIE 8995-1 (2013a)	08h	70%	20%	20%	↑
	10h	40%	40%	40%	
	12h	70%	70%	60%	
	14h	80%	80%	80%	
	16h	80%	80%	80%	
	18h	100%	100%	80%	

Intervenção pequena (0% - 20%)

Intervenção média (30% - 50%)

Intervenção grande (> 60%)

Fonte: AUTORA, 2020.

Para o EML, existe um predomínio da necessidade de intervenções pequenas e médias na iluminação a fim de atender aos requisitos mínimos determinados para o horário das 8h às 12h ao longo do ano. Para o CS, existe um predomínio da necessidade de intervenções pequenas e médias na iluminação a fim de atender aos requisitos mínimos determinados para nesse mesmo horário. Às 14h e às 16h, para o EML, existe o predomínio da necessidade de intervenções grandes para atingir o máximo requisitado pela métrica, enquanto para o CS existe o predomínio da

necessidade da intervenção média para atingir o mínimo recomendado pela métrica para esse horário. Às 18h, para o EML e para o CS, predomina a necessidade de intervenção mínima. Para a métrica visual ao longo do ano, às 8h, existe o predomínio de intervenções pequenas, enquanto às 10h há o predomínio de intervenções médias. Das 12h às 18h, existe o predomínio da necessidade de intervenção grande visando atingir o mínimo recomendado pela norma para esse horário.

Portanto, a iluminação natural no céu claro na orientação leste apresenta diferentes necessidades de intervenções para atender aos requisitos não visuais mínimos determinados pelas métricas circadianas, o EML e o CS. Além disso, o período das 8h às 12h é o que apresenta as menores necessidades de intervenção na iluminância vertical para atender aos requisitos do EML e do CS. Apesar de a maior parte dos postos de trabalho atender aos requisitos não visuais ao longo do ano, essa orientação solar não atende aos requisitos visuais de iluminação.

6.1.2.2 Norte

A partir da Tabela 8, podem-se identificar alguns parâmetros necessários para a concepção da iluminação integrativa para o céu claro na orientação norte.

➤ *Solstício de inverno*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 10h e às 12h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 14h e às 16h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h, 10% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 14h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena; às 16h, 20% dos postos de trabalho

necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 8h, enquanto para o EML necessita-se de intervenção média em 40% dos postos de trabalho, para o CS necessita-se de uma intervenção alta em 60% dos postos de trabalho; às 12h, enquanto para o EML nenhuma intervenção é necessária, para o CS necessita-se de uma intervenção pequena em 10% dos postos de trabalho; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam intervenção grande de 100% às 14h e às 16h, enquanto para o CS apresentam uma intervenção média de 50% às 14h e uma intervenção pequena de 20% somente às 16h.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção média; às 12h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção pequena; às 14h, 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção média; às 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_m elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Equinócio*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 10h e às 12h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 14h e às 16h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 10h, 12h e 14h, 20%

dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 16h, 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 8h, enquanto para o EML 30% dos postos de trabalho necessitam de intervenção, para o CS, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando, em ambos os casos, intervenções médias; às 10h e às 12h, enquanto para o EML nenhum posto de trabalho necessita de intervenção, para o CS 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando em ambos os casos uma intervenção pequena; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam uma intervenção grande às 14h (100%) e às 16h (80%), enquanto para o CS apresentam intervenção pequena às 14h (20%) e média às 16h (30%).

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; das 10h às 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Solstício de verão*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de verão devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 10h e às 12h, 30% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 16h, 40% dos postos de

trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 18h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 10h e às 12h, enquanto para o EML existe a necessidade de intervenção em 30% dos postos de trabalho, para o CS necessita-se de uma intervenção em 40%, ambos considerados como uma intervenção pequena; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam uma intervenção grande às 14h (70%) e às 16h (60%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção média às 14h (40%) e às 16h (40%); às 18h, para o EML 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, enquanto para o CS 40% dos postos de trabalho, ambos considerados como intervenção média.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h e às 10h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção pequena; às 12h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 16h e às 18h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

Tabela 8 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h na orientação norte nos equinócios e solstícios

		NORTE			
		CÉU CLARO			
		Postos de trabalho (%)			Estratégia para intervenção
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
EML	08h	40%	30%	40%	↑ ↓
	10h	0%	0%	30%	
	12h	0%	0%	30%	
	14h	100%	100%	70%	
	16h	100%	80%	60%	
	18h	0%	20%	50%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
CS	08h	60%	40%	40%	↑ ↓
	10h	0%	20%	40%	
	12h	10%	20%	40%	
	14h	0%	20%	40%	
	16h	20%	30%	40%	
	18h	0%	20%	40%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância horizontal (lux)
ABNT NBR 9070/CIE 8995-1 (2013a)	08h	80%	70%	80%	↑
	10h	40%	60%	80%	
	12h	20%	60%	60%	
	14h	30%	60%	70%	
	16h	60%	60%	80%	
	18h	100%	100%	80%	

Intervenção pequena (0% - 20%)

Intervenção média (30% - 50%)

Intervenção grande (> 60%)

Fonte: AUTORA, 2020.

Para o EML, existe um predomínio da necessidade de intervenções médias na iluminação para atender aos requisitos mínimos e de intervenções pequenas determinadas para o horário das 8h às 12h ao longo do ano. Para o CS, existe a necessidade de intervenções médias e de intervenções pequenas na iluminação, com um horário de intervenção grande (às 8h no solstício de inverno), para atender aos requisitos mínimos determinados para o horário nesse mesmo período. Às 14h e às 16h, para o EML, existe o predomínio da necessidade de intervenções grandes para atingir o máximo requisitado pela métrica; enquanto para o CS, existe o predomínio da necessidade da intervenção mínima e média para atingir o mínimo recomendado pela métrica para esse horário. Às 18h, para o EML e para o CS, existe o predomínio da necessidade de intervenção mínima no solstício de inverno e no equinócio, enquanto a intervenção é média no solstício de verão. Para a métrica visual no solstício de inverno, das 10h às 14h, existe o predomínio de intervenções médias e pequenas; enquanto às 8h, 16h e 18h, existe o predomínio de intervenções grandes. No equinócio e no solstício de verão, existe o predomínio da necessidade

da intervenção grande ao longo do dia para atingir o mínimo recomendado pela norma para esse horário.

Portanto, a iluminação natural no céu claro na orientação norte apresenta diferentes necessidades de intervenções para atender aos requisitos não visuais mínimos determinados pelas métricas circadianas, o EML e o CS. Tanto para o EML quanto para o CS, a iluminação natural no período da manhã é próxima do adequado em todos os postos de trabalho no solstício de inverno e no equinócio. O solstício de verão apresenta maior concentração de intervenções médias do que o solstício de inverno e o equinócio, devido provavelmente à inclinação do sol ser maior em relação ao horizonte do que nas outras estações do ano o que diminui a incidência de sol no ambiente. Apesar de a maior parte dos postos de trabalho atender aos requisitos não visuais ao longo do ano, eles não atendem aos requisitos visuais de iluminação.

6.1.2.3 Oeste

A partir da Tabela 9, podem-se identificar alguns parâmetros necessários para a concepção da iluminação integrativa para o céu claro na orientação oeste.

➤ *Solstício de inverno*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h e às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 90% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 16h, 100% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada gerando uma intervenção grande; às 10h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 16h, nenhum dos postos de

trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 10h, enquanto para o EML necessita-se de uma intervenção média em 40% dos postos de trabalho, para o CS necessita-se de uma intervenção alta em 60% dos postos de trabalho; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam intervenção grande de 90% às 14h e de 100% às 16h, enquanto para o CS apresentam uma intervenção pequena de 20% às 14h e nenhuma intervenção às 16h.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 100% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h e às 12h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 14h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 16h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção média; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, sendo classificada como intervenção grande.

➤ *Equinócio*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h e às 16h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada,

gerando uma intervenção pequena; às 16h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 18h, 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 8h, enquanto para o EML 40% dos postos de trabalho necessitam de intervenção média, para o CS, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, o que gera uma intervenção grande; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam uma intervenção grande às 14h (100%) e às 16h (100%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção pequena às 14h (20%) e pequena às 16h (0%).

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 12h, 100% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 14h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 16h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção pequena; às 18h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Solstício de verão*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 90% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 16h, todos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada gerando uma intervenção média; às 14h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção pequena; às 16h, nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v elevada, gerando

uma intervenção pequena; às 18h, todos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam uma intervenção grande às 14h (90%) e às 16h (100%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção pequena às 14h (20%) e às 16h (0%); às 18h, para o EML todos os postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, enquanto para o CS todos os postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando ambos uma intervenção grande.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 12h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 14h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 16h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção média; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção pequena.

Tabela 9 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h na orientação oeste nos equinócios e solstícios

		OESTE			
		CÉU CLARO			
		Postos de trabalho (%)			Estratégia para intervenção
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
EML	08h	80%	40%	40%	↑ ↓
	10h	40%	40%	40%	
	12h	40%	40%	40%	
	14h	90%	100%	90%	
	16h	100%	100%	100%	
	18h	0%	80%	100%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
CS	08h	80%	60%	40%	↑ ↓
	10h	60%	40%	40%	
	12h	40%	40%	40%	
	14h	20%	20%	20%	
	16h	0%	0%	0%	
	18h	0%	50%	100%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância horizontal (lux)
ABNT NBR 9051 (2013a)	08h	100%	80%	80%	↑
	10h	80%	80%	80%	
	12h	80%	80%	80%	
	14h	60%	60%	60%	
	16h	40%	20%	40%	
	18h	100%	80%	20%	

Intervenção pequena (0% - 20%)

Intervenção média (30% - 50%)

Intervenção grande (> 60%)

Fonte: AUTORA, 2020.

Para o EML, existe um predomínio da necessidade de intervenções médias na iluminação para atender aos requisitos mínimos determinados para o horário das 8h às 12h ao longo do ano. Para o CS, existe o predomínio da necessidade de intervenções grandes e médias na iluminação para atender aos requisitos mínimos determinados para o horário nesse mesmo período. Às 14h e às 16h, para o EML, existe o predomínio da necessidade de intervenções grandes para atingir o máximo requisitado pela métrica, enquanto para o CS, existe o predomínio da necessidade da intervenção pequena para atingir o mínimo recomendado pela métrica para esse horário. Às 18h, para o EML, existe o predomínio da necessidade de intervenção mínima no solstício de inverno, média no equinócio e grande no solstício de verão. Já para o CS, às 18h, existe a necessidade de intervenção grande no solstício de inverno e no equinócio e de intervenção pequena no solstício de verão. Para a métrica visual ao longo do ano, das 8h às 14h, existe o predomínio da necessidade da intervenção grande para atingir o mínimo recomendado pela norma para esse horário. No horário das 16h, o predomínio é de intervenções médias e pequenas ao longo do ano;

enquanto às 18h, no solstício de inverno e equinócio, predomina a intervenção grande, e no solstício de verão a pequena.

Portanto, a iluminação natural no céu claro na orientação oeste apresenta diferentes necessidades de intervenções para atender aos requisitos não visuais mínimos determinados pelas métricas circadianas, o EML e o CS. Tanto para o EML quanto para o CS, essa orientação solar não é a mais adequada para os primeiros horários da manhã. Igualmente, essa orientação solar não atende aos requisitos visuais de iluminação.

6.1.2.4 Sul

A partir da Tabela 10, podem-se identificar alguns parâmetros necessários para a concepção da iluminação integrativa para o céu claro na orientação sul.

➤ *Solstício de inverno*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h e às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 60% dos os postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 16h, 40% dos os postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção média; às 18h nenhum dos postos de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 12h e às 14h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h nenhum posto de trabalho necessita ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 8h, enquanto para o EML necessita-se de intervenção grande em 70% dos postos de trabalho, para o CS necessita-se de uma intervenção grande em 80% dos postos de

trabalho; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam intervenção grande de 60% às 14h e às 16h, enquanto para o CS apresenta uma intervenção média de 40% às 14h e uma intervenção grande de 60% às 16h.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no solstício de inverno, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 100% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; das 10h às 14h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 16h, 90% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Equinócio*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 14h e às 16h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção pequena.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção grande; às 10h, 12h e 14h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 16h, 50% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, gerando uma intervenção média; às 18h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v reduzida, gerando uma intervenção grande.

Comparando as intervenções necessárias para que a E_v atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 8h, enquanto para o EML 40% dos postos de trabalho necessitam de intervenção média, para o CS, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_v elevada, o que gera uma intervenção grande; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a E_v para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a E_v . Por isso, para o EML esses horários apresentam uma intervenção grande às 14h

(60%) e às 16h (60%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção média às 14h (40%) e às 16h (50%).

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a métrica visual no equinócio, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 90% dos postos de trabalho necessitam ter a Em elevada, gerando uma intervenção grande; das 10h às 16h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a Em elevada, gerando uma intervenção grande; às 18h, todos os postos de trabalho necessitam ter a Em elevada, gerando uma intervenção grande.

➤ *Solstício de verão*

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o EML no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 20% dos postos de trabalho necessitam ter a Ev elevada, gerando uma intervenção pequena; às 10h e às 12h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a Ev elevada, gerando uma intervenção média; às 14h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a Ev reduzida, gerando uma intervenção grande; às 16h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a Ev reduzida, gerando uma intervenção grande; às 18h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a Ev reduzida, gerando uma intervenção grande.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para o CS no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: das 8h às 16h, 40% dos postos de trabalho necessitam ter a Ev elevada, gerando uma intervenção média; às 18h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a Ev reduzida, gerando uma intervenção grande.

Comparando as intervenções necessárias para que a Ev atinja o mínimo recomendado pelas métricas, podemos perceber as seguintes diferenças: às 8h, enquanto para o EML existe a necessidade de intervenção pequena em 20% dos postos de trabalho, para o CS necessita-se de uma intervenção média em 40% dos postos de trabalho; às 14h e às 16h, enquanto para o EML a estratégia é diminuir a Ev para atingir o recomendado para o horário, para o CS a estratégia é aumentar a Ev. Por isso, para o EML esses horários apresentam uma intervenção grande às 14h (60%) e às 16h (70%), enquanto para o CS apresentam uma intervenção média às 14h (40%) e às 16h (40%); às 18h, para o EML, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a Ev reduzida, enquanto para o CS esse número cai para 60% dos postos de trabalho, gerando em ambos os casos uma intervenção grande.

Para atender aos requisitos mínimos do horário para a norma brasileira de iluminação (ABNT, 2013a) no solstício de verão, devemos atentar às seguintes especificações: às 8h, 60% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; das 10h às 14h, 80% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande; às 16h e às 18h, 70% dos postos de trabalho necessitam ter a E_H elevada, gerando uma intervenção grande.

Tabela 10 – Percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h na orientação sul nos equinócios e solstícios

		SUL			
		CÉU CLARO			
		Postos de trabalho (%)			Estratégia para intervenção
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
EML	08h	70%	40%	20%	↑ ↓
	10h	40%	40%	40%	
	12h	40%	40%	40%	
	14h	60%	60%	60%	
	16h	40%	60%	70%	
	18h	0%	20%	80%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância vertical (lux)
CS	08h	80%	60%	40%	↑ ↓
	10h	50%	40%	40%	
	12h	40%	40%	40%	
	14h	40%	40%	40%	
	16h	60%	50%	40%	
	18h	0%	20%	60%	
		Solstício de inverno	Equinócio	Solstício de verão	Iluminância horizontal (lux)
ABNT NBR 50/CIE 8995-1 (2013a)	08h	100%	90%	60%	↑
	10h	80%	80%	80%	
	12h	80%	80%	80%	
	14h	80%	80%	80%	
	16h	90%	80%	70%	
	18h	100%	100%	70%	

Intervenção pequena (0% - 20%)

Intervenção média (30% - 50%)

Intervenção grande (> 60%)

Fonte: AUTORA, 2020.

Para o EML, existe um predomínio da necessidade de intervenções grandes e de intervenções médias na iluminação no horário das 8h às 12h ao longo do ano. Para o CS, existe o predomínio da necessidade de intervenções grandes e de intervenções médias na iluminação para atender aos requisitos mínimos determinados para o horário nesse mesmo período. Às 14h e às 16h, para o EML, existe o predomínio da necessidade de intervenção grande para atingir o máximo requisitado pela métrica, enquanto para o CS, existe o predomínio da necessidade da intervenção pequena para atingir o mínimo recomendado pela métrica para esse horário. Às 18h, para o EML e o CS, existe o predomínio da necessidade de

intervenção pequena no solstício de inverno e equinócio, enquanto no solstício de verão precisa-se de uma intervenção grande. Para a métrica visual ao longo do ano, das 8h às 18h, existe o predomínio da necessidade da intervenção grande para atingir o mínimo recomendado pela norma para esse horário.

Portanto, a iluminação natural no céu claro na orientação sul apresenta diferentes necessidades de intervenções para atender aos requisitos não visuais mínimos determinados pelas métricas circadianas, o EML e o CS. Tanto para o EML quanto para o CS, essa orientação solar não é a mais adequada para os primeiros horários da manhã e não atende aos requisitos visuais mínimos determinados a partir da legislação de iluminação vigente.

6.1.2.5 Relações entre orientações solares, requisitos visuais e não visuais na iluminação natural

No céu encoberto e no céu claro, em todas as orientações, existem diferenças no valor percentual de postos de trabalho que atendem ao requisito mínimo e máximo determinado para o horário de acordo com o cronograma de ambas as métricas (Tabela 11). A luz natural ser circadianamente ativa ou não para aquele posto de trabalho depende principalmente da *função de sensibilidade espectral* específica de cada métrica circadiana, o que resulta em diferentes percentuais em horários com a estratégia de iluminação semelhante – como ter a iluminação circadianamente ativa durante as primeiras horas da manhã (das 8h às 12h). Essa diferença entre as funções de sensibilidade espectral está relacionada na seção 4.2.3.

O CS indica um cronograma em que a iluminação deve ser circadianamente ativa – suprimir a produção de melatonina – das 7h às 16h, enquanto o EML só especifica que se deve atingir o valor mínimo recomendado das 9h às 13h, sendo diminuído progressivamente até as 20h. Não sendo específico em relação aos valores mínimos determinados para os períodos da tarde, pressupõe-se que o EML não tem a necessidade de ser circadianamente ativo após o período determinado. Considerando essas diferenças, o primeiro período da manhã (8h, 10h e 12h) na orientação leste, seguido da orientação norte, é a que tem o maior número de postos de trabalho que atendem aos requisitos mínimos ao longo do ano e nas horas analisadas para o EML. Entretanto, durante o período da tarde, essas orientações solares necessitam de intervenções grandes (>60%) para atender a esses requisitos

mínimos. Para o CS, a orientação solar norte em céu claro, seguido da orientação leste, é a que melhor atende aos requisitos mínimos recomendados pela métrica.

A orientação norte em céu claro é uma orientação solar que tem um percentual alto (acima de 60%) de postos de trabalho que atendem aos requisitos visuais mínimos no solstício de inverno às 12h (80%). Entretanto, no equinócio e no solstício de verão, esse valor diminui pela metade (40%). A orientação leste em céu claro tem um percentual baixo (30%) e médio (60%) de postos de trabalho que atendem aos requisitos visuais mínimos no solstício de inverno. Contudo, esse valor atinge até 80% no equinócio e no solstício de verão nessa orientação solar. Portanto, a orientação leste é a que tem o maior número de postos de trabalho que atendem aos requisitos visuais mínimos, se consideramos o período ao longo do ano.

Assim, cruzando as informações das orientações solares que atendem ao longo do ano aos requisitos não visuais do EML e do CS com as informações sobre as orientações solares que atendem ao requisito visual mínimo, considera-se que a orientação leste é a que melhor atende aos requisitos não visuais e visuais concomitantemente.

Tabela 11 – Resumo dos percentuais do número de postos de trabalho que necessitam de intervenção para atender aos requisitos mínimos da iluminação integrativa em céu claro nos horários das 8h às 18h em todas as orientações solares nos equinócios e solstícios

LESTE, NORTE, OESTE E SUL	LESTE			NORTE			OESTE			SUL			Estratégia para intervenção			
	CÉU CLARO			CÉU CLARO			CÉU CLARO			CÉU CLARO						
	Postos de trabalho (%)			Postos de trabalho (%)			Postos de trabalho (%)			Postos de trabalho (%)						
	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	
EML	08h	100%	80%	60%	0%	0%	40%	30%	40%	80%	40%	40%	70%	40%	20%	←
	10h	60%	60%	60%	0%	0%	0%	0%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
	12h	60%	50%	40%	30%	0%	30%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
	14h	40%	40%	60%	60%	100%	70%	100%	100%	90%	100%	100%	60%	60%	60%	
	16h	20%	40%	60%	60%	80%	60%	100%	100%	100%	100%	40%	40%	60%	70%	
	18h	0%	0%	20%	20%	20%	50%	20%	20%	0%	0%	80%	100%	0%	80%	
CS	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	←
	08h	100%	80%	70%	30%	0%	60%	40%	40%	80%	60%	40%	80%	40%	40%	
	10h	80%	60%	60%	10%	10%	0%	20%	20%	40%	40%	40%	50%	40%	40%	
	12h	60%	60%	60%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	
	14h	70%	60%	60%	50%	40%	40%	20%	20%	40%	20%	20%	40%	40%	40%	
	16h	80%	80%	60%	60%	50%	40%	20%	30%	40%	0%	0%	60%	50%	40%	
18h	0%	0%	20%	20%	20%	40%	0%	20%	0%	0%	50%	0%	20%	50%		
ABNT NBR 5013/CE 8995-1 (2013a)	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	Solstício de Inverno	Equinócio	Solstício de verão	→
	08h	100%	90%	80%	70%	20%	80%	70%	80%	100%	80%	80%	100%	90%	60%	
	10h	80%	80%	80%	40%	40%	60%	60%	60%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	
	12h	80%	80%	80%	70%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	80%	
	14h	80%	80%	80%	80%	80%	80%	30%	60%	70%	60%	60%	80%	80%	80%	
	16h	100%	80%	80%	80%	80%	80%	60%	60%	80%	40%	20%	90%	80%	70%	
18h	100%	100%	100%	100%	100%	80%	100%	100%	80%	80%	20%	100%	100%	70%		

Intervenção pequena (0% - 20%)

Intervenção média (30% - 50%)

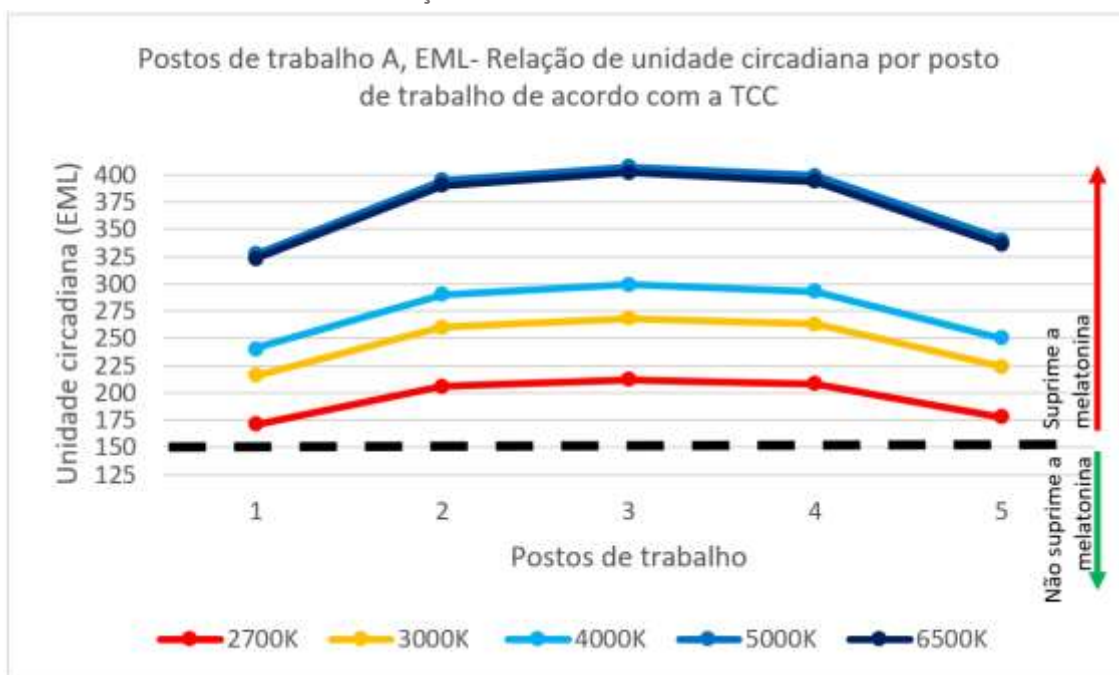
Intervenção grande (> 60%)

6.2 Fase 02: análise de projeto de iluminação elétrica convencional do escritório hipotético a partir das ferramentas de conversão de unidades propostas pelo EML e pelo CS

Os projetos convencionais vêm utilizando luminárias *tunable white*, com a justificativa de causarem - além das questões psicológicas, estéticas e de tudo que é considerado natural - efeitos no sistema não visual do usuário, alegando que isso faz dele um projeto de iluminação integrativa. Apesar de o projeto ser adequado às necessidades de conforto visual e atender à norma vigente de iluminação, ele pode não ser adequado para o sistema não visual, apesar da mudança de temperatura de cor ao longo do dia.

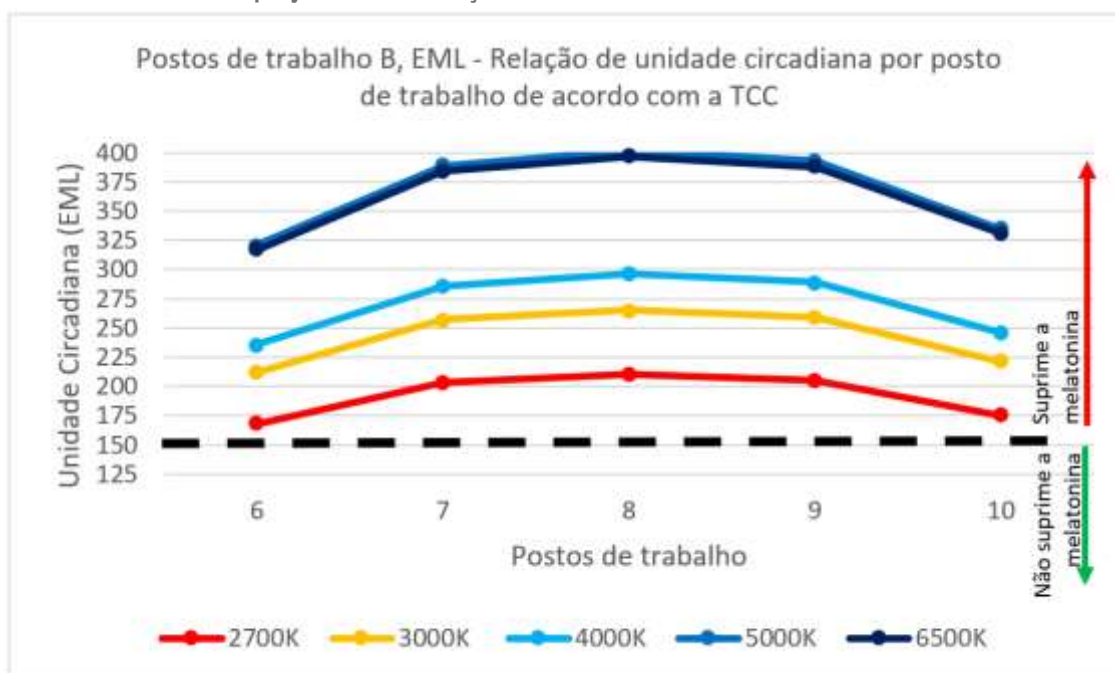
A partir da Tabela 62, Tabela 63, Tabela 64, Tabela 65 e Tabela 66, apresentadas no APÊNDICE G, foram construídos os gráficos da conversão da iluminância vertical nos valores das métricas EML e CS (Figura 84, Figura 85, Figura 86 e Figura 87) para a análise dos valores encontrados no estudo de caso - Fase 02. Nos gráficos estão destacadas as linhas que delimitam os valores que suprimem a produção de melatonina de cada unidade circadiana, sendo 150 EML para o EML, e $CS \geq 0,3$ para o CS, conforme indicado no capítulo 4.

Figura 84- Gráfico com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) em EML para projeto de iluminação convencional elétrica - LADO A



Fonte: AUTORA, 2020.

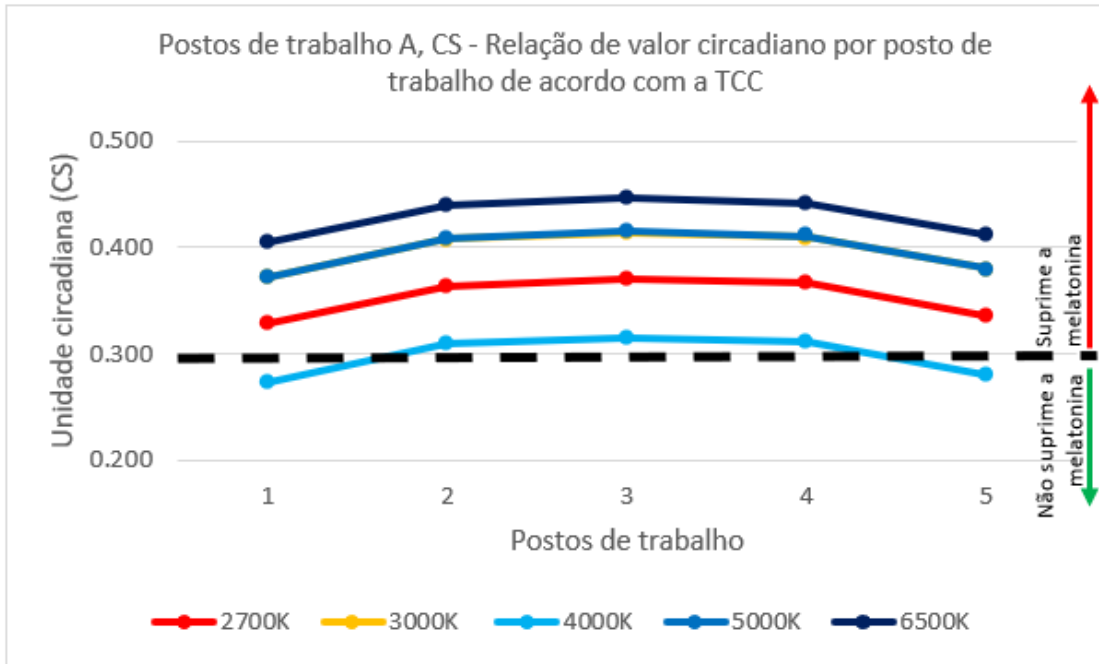
Figura 85 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (Ev) em EML para projeto de iluminação convencional elétrica – LADO B



Fonte: AUTORA, 2020.

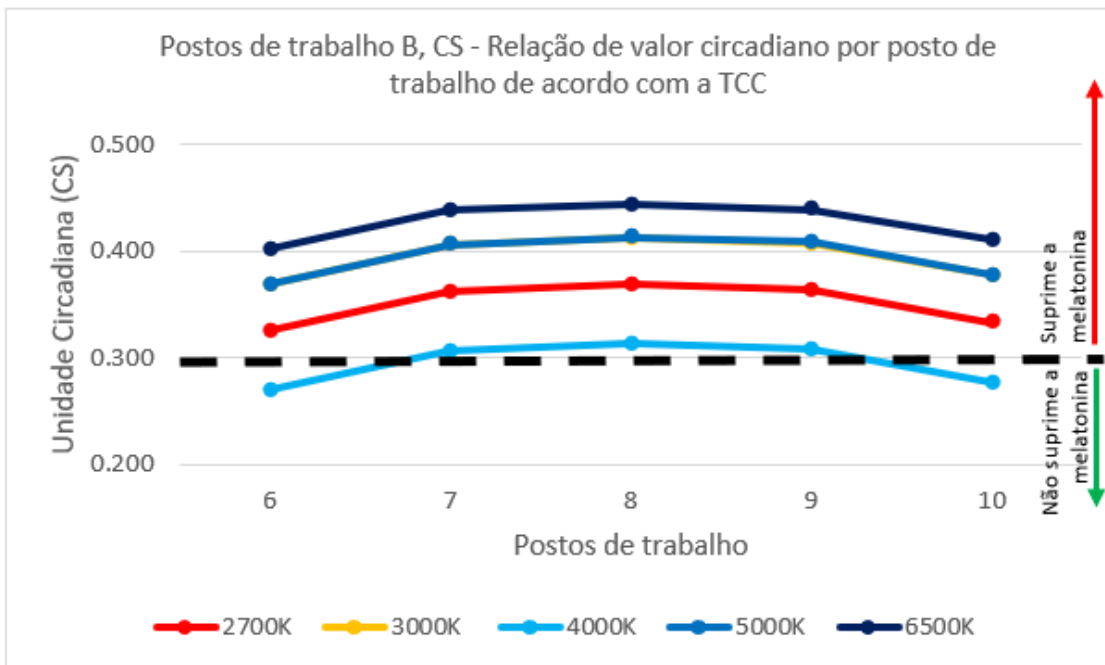
Os gráficos (Figura 84 e Figura 85) apresentam conversões de valores de Ev que revelam resultados de EML acima do limite máximo (150 EML) para os horários da tarde (14h, 16h e 18h), atendendo, conseqüentemente, aos parâmetros necessários para os primeiros períodos da manhã (8h, 10h e 12h). É importante observar que o DEP da TCC mais quente (2700 K) tem os resultados de EML mais baixos, seguido do DEP da TCC 3000 K e do DEP da TCC 4000 K. O DEP da TCC 5000 K e o DEP da TCC 6500 K estão com valores de unidade circadiana aproximados, de acordo com o apresentado no gráfico, porém com valores maiores do que as TCC anteriores. Portanto, o EML apresenta uma sensibilidade progressiva, variando as suas unidades de uma TCC considerada mais "quente" até uma TCC considerada mais "fria".

Figura 86 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (Ev) em CS para projeto de iluminação convencional elétrica - LADO A



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 87 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (Ev) em CS para projeto de iluminação convencional elétrica - LADO B



Fonte: AUTORA, 2020.

Os gráficos (Figura 86 e Figura 87) informam que o CS tem a maior parte de conversões de valores de Ev que apresentam resultados de CS $\geq 0,3$. Portanto, esses

valores atendem aos requisitos do CS para o horário das 8h às 16h, mas não para as 18h. De acordo com os valores de CS, as E_v dos postos de trabalho 1, 5, 6 e 10 do DEP da TCC 4000 K não atendem aos requisitos mínimos para os horários das 8h às 16h, atendendo ao requisito no horário das 18h. É importante observar que, ao contrário do que ocorre no EML, os gráficos demonstram que os valores de CS mais baixos são do DEP da TCC 4000 K, seguido pelo DEP da TCC de 2700 K. Os DEP da TCC 3000 K e TCC 5000 K têm valores aproximadamente iguais, sendo que o DEP da TCC 6500 K apresenta os maiores valores de CS entre os DEP/as TCC.

Apesar de o projeto atender a todos os requisitos da norma brasileira de iluminação, ele não atende aos requisitos mínimos do EML e do CS para o desenvolvimento de um projeto de iluminação integrativa, mesmo que as suas TCC variem de uma cor mais "quente" até uma cor mais "fria". Em todas as TCC, as E_v dos postos de trabalho, quando convertidas em EML, têm valor acima de 150 EML, atendendo aos parâmetros mínimos para os primeiros horários da manhã (8h, 10h e 12h), mas não para o período da tarde (14h, 16h e 18h). Quando se convertem os valores de E_v dos postos de trabalho em CS originados pela fonte de luz da TCC de 4000 K nos postos de trabalho 1, 5, 6 e 10, os valores não atingem o mínimo de $CS \geq 0,3$ para o horário das 8h às 16h, mas atendem ao requisito para o horário das 18h. Essa diferença revela que a fonte de luz deve ser escolhida de acordo com o seu DEP e não somente pela sua TCC. A provável diferença de sensibilidade entre o EML e o CS ao DEP está relacionada à base de construção das unidades: a *função de sensibilidade espectral* específica de cada métrica circadiana. O CS apresenta uma maior sensibilidade na região do espectro circadiano ativo em relação ao EML, como demonstrado na seção 4.1.3 desta dissertação. Isso indica a importância de se obter os reais valores de DEP direto do fabricante a fim de conseguir analisar de forma mais justa uma fonte de luz em relação aos seus efeitos não visuais. Em ambas as métricas, somente a inserção dos dados completos de DEP nas calculadoras circadianas pode confirmar se uma fonte de luz suprime ou não a melatonina e se atende aos requisitos mínimos para o projeto de iluminação integrativa.

Os valores gerados para o EML e o CS indicam que a fonte de luz (luminária *downlight* LED), mesmo variando a TCC e conseqüentemente seu DEP, não é a mais adequada para o planejamento de uma iluminação integrativa. Uma das recomendações ao projeto de iluminação integrativa do CS (seção 4.4.2) é a de, na impossibilidade de variar os DEP/TCC, variar a iluminância (lux) no plano de trabalho.

Entretanto, por atender aos requisitos mínimos da legislação vigente, não é possível variar a iluminância horizontal no plano de trabalho para valores mais baixos para compensar os DEP/TCC que suprimem a produção de melatonina.

Apesar de o projeto luminotécnico desenvolvido atender a todos os requisitos da norma brasileira (como o ambiente se apresentar dentro dos limites de refletâncias úteis indicadas para as superfícies internas, a iluminância no plano de trabalho (500 lux) e no entorno imediato (300 lux) estar no mínimo recomendado, a avaliação do índice de ofuscamento unificado ($UGR \leq 19$) apresentar valores dentro do limite), ele não atende aos requisitos do EML e do CS para os projetos de iluminação voltada ao sistema não visual humano. Portanto, o projeto apresentado não é considerado um projeto de iluminação integrativa.

Utilizando a mesma fonte de luz do projeto convencional analisado anteriormente, a outra alternativa para planejar uma iluminação integrativa é a variar a E_v mantendo uma única TCC/DEP, conforme mencionado na página 151. Para ser possível variar a E_v de forma que a iluminação atenda aos requisitos das métricas circadianas à noite, a E_m tem que ser reduzida. Entretanto, como o projeto está atendendo à E_m mínima requisitada pela norma brasileira, não é possível efetuar essa ação.

Conforme mencionado no *The Lighting Handbook* da IES (DILAURA et al., 2011), a E_m recomendada é de 300 lux no plano de trabalho a 0,75 m do piso acabado para escritórios onde o computador é utilizado como ferramenta de trabalho. Portanto, existe uma diferença de 200 lux entre as recomendações da norma brasileira de iluminação e da IES na mesma situação. Se a recomendação da IES fosse seguida para o projeto desse ambiente, a variação da E_m seria possível e, conseqüentemente, da E_v . Portanto, foi elaborado um projeto de iluminação integrativa com a fonte de luz de TCC 3000 K²³³ para testar essa possibilidade. Isso demonstra que, para o projeto de iluminação integrativa seja desenvolvido de forma adequada, a ABNT ISO/CIE NBR 8995-1 (ABNT, 2013a) e a sua iluminância mínima mantida (E_m) deverão ser revistas.

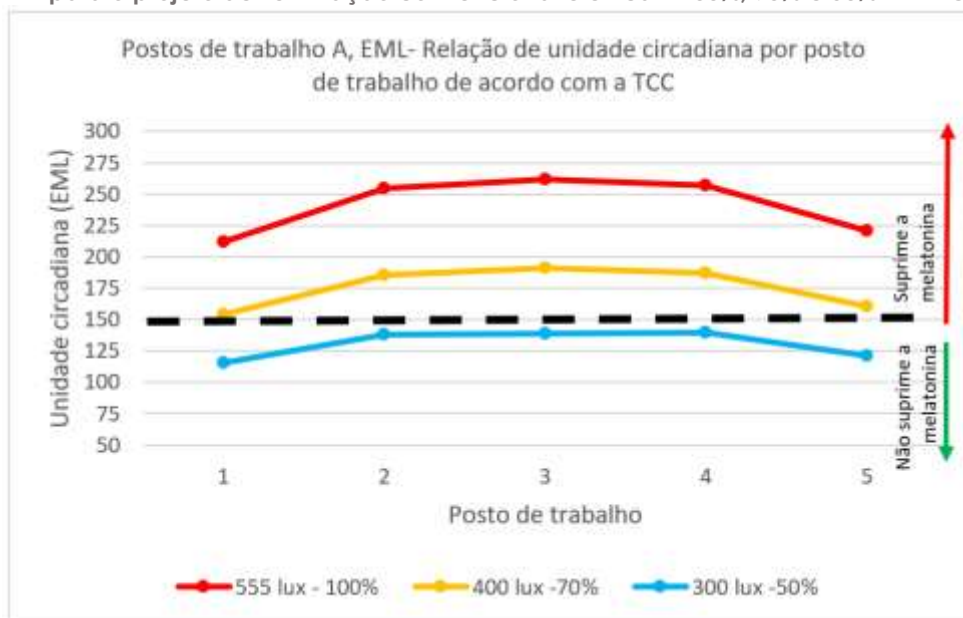
Nos projetos de iluminação integrativa, a fonte de luz elétrica (LED) apresenta uma TCC fixa de 3000 K que é dimerizada para variar a E_m – e, por consequência, a

²³³ DILAURA et al. (2011, p.12.29/30) recomenda uma temperatura de cor no "meio termo" de 3000 K com um IRC>80.

Ev - em 70% e 50% do fluxo luminoso total para se realizar o teste do DEP. No APÊNDICE H e no APÊNDICE I, estão os resultados das Ev dos postos de trabalho 1 a 10 quando a Em do plano de trabalho varia entre 555 lux (100% do fluxo luminoso total das luminárias), 400 lux (70% do fluxo luminoso total das luminárias) e 300 lux (50% do fluxo luminoso total das luminárias). Essa análise permitiu verificar que é possível realizar um projeto de iluminação integrativa se a Em no plano de trabalho pela norma brasileira for reduzida em relação à Em atual de 500 lux para o mínimo de 300 lux recomendado pela IES, mantendo as luminárias com a mesmo TCC.

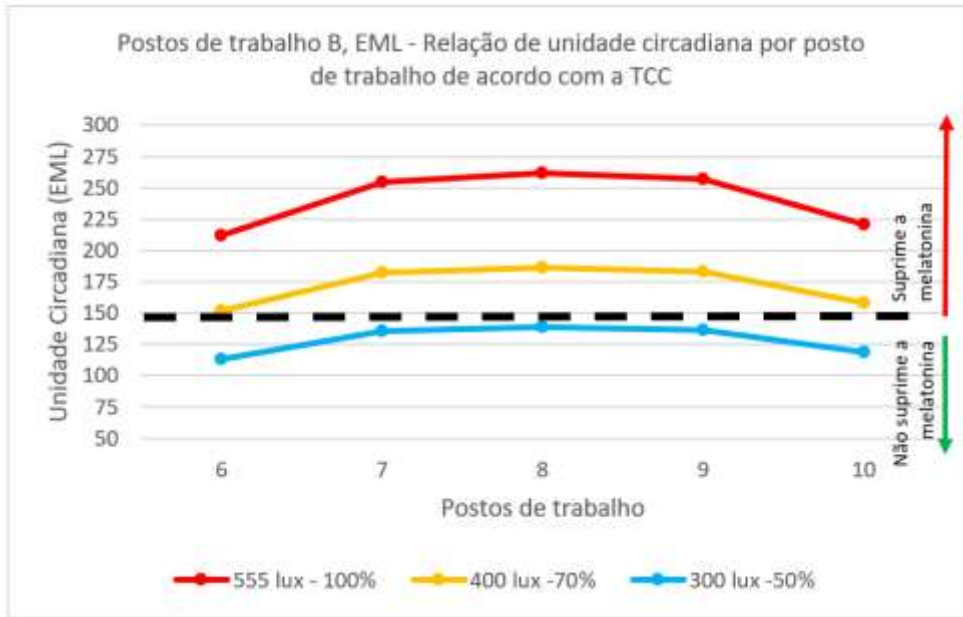
No projeto de iluminação integrativa do EML, a fonte de luz de 3000 K e o seu DEP foram analisados nos gráficos da Figura 88 e da Figura 89, com a dimerização a 100% (555 lux), a 70% (400 lux) e a 50% (300 lux) em todos os postos de trabalho (Lado A e Lado B) do escritório administrativo utilizado no estudo de caso. Tanto para o Lado A quanto para o Lado B, os gráficos demonstram que a fonte de luz a 100% (555 lux) e a 70% (400 lux) tem suas Ev acima do valor mínimo sugerido - demarcado no gráfico -, ou seja, ideais para os primeiros horários da manhã. Já com a fonte de luz dimerizada a 50% (300 lux), todas as Ev dos postos de trabalho estão com o valor menor do que o mínimo indicado para o período da manhã - ideais para os períodos da tarde e noite.

Figura 88 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (Ev) da fonte 3000 K em EML para o projeto de iluminação convencional elétrica - 100%, 70% e 50% - LADO A



Fonte: AUTORA, 2020.

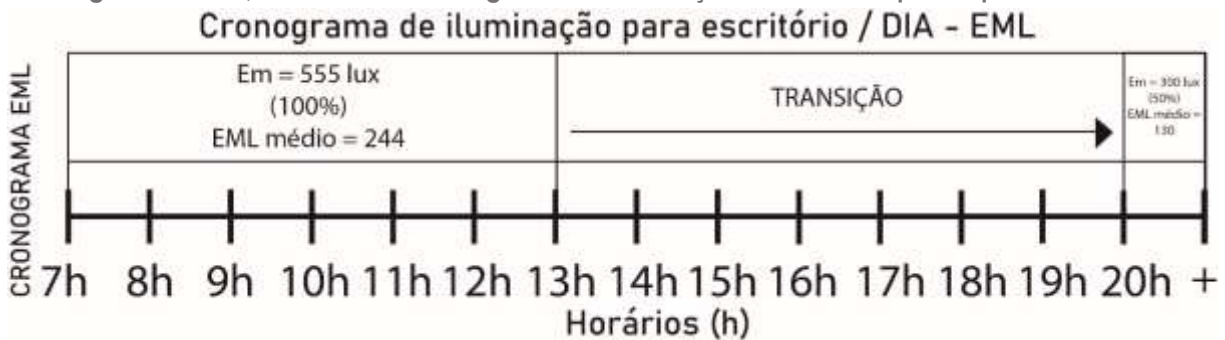
Figura 89 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (Ev) da fonte 3000 K em EML para o projeto de iluminação convencional elétrica - 100%, 70% e 50% - LADO B



Em um segundo momento, baseado nessa análise dos gráficos, desenvolveram-se dois cronogramas personalizados da dinâmica da iluminação, que empregam como base as recomendações do EML ao longo do dia.

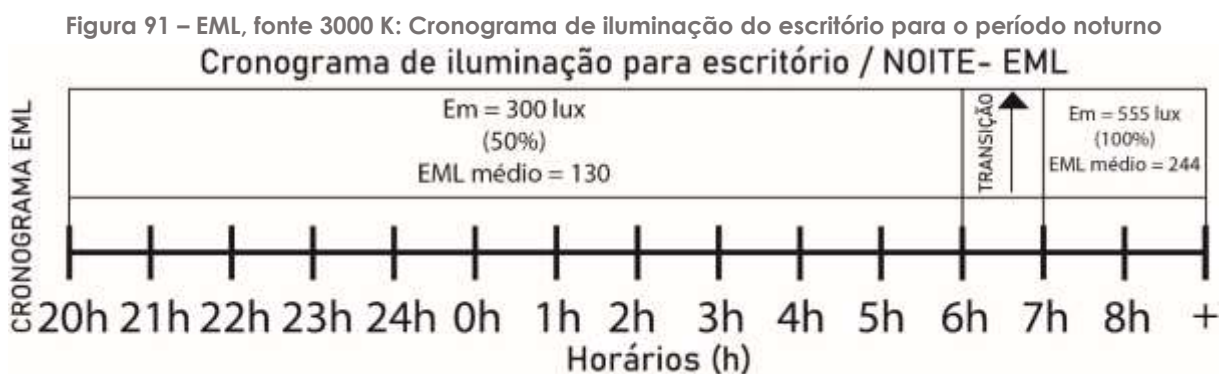
No cronograma para o turno diurno (Figura 90), a iluminação é programada da seguinte forma: inicia com a iluminância mantida no plano de trabalho (Em) de 555 lux, que é capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 7h às 13h; realiza uma transição de Em de 555 lux para 300 lux, que é 50% da capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 13h às 20h; e mantém uma Em de 300 lux, que é 50% da capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, a partir das 20h.

Figura 90 - EML, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período diurno



Esse cronograma atende aos requisitos indicados para o EML para se atingir um ponto de pontuação na certificação. Apesar de os valores médios de EML se manterem acima do mínimo para três pontos no horário das 7h às 13h – como aparece no cronograma -, de acordo com o gráfico da Figura 88 e Figura 89, os postos de trabalho 1, 5, 6 e 10 não atingem o valor de 240 EML – o que inviabiliza a obtenção da pontuação maior. Além disso, optou-se por realizar uma transição gradativa e suave da $E_m = 555$ lux para a $E_m = 300$ lux no período das 13h às 20h, pois a certificação não determina qual seria o valor mínimo ideal para esse período, sugerindo somente que os valores fossem reduzidos após as 20h.

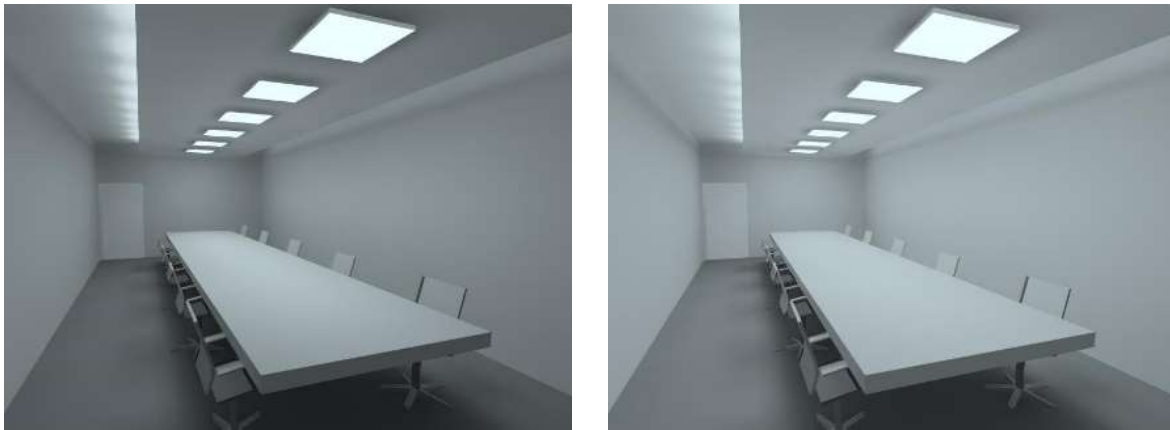
No cronograma para o turno noturno (Figura 91), a iluminação é programada da seguinte forma: inicia com a iluminância mantida no plano de trabalho (E_m) de 300 lux, que é 50% da capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 20h às 6h; realiza uma transição de E_m de 300 lux para 555 lux, que é a capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 6h às 7h; e mantém uma E_m de 555 lux, que é a capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, a partir das 7h e segue o cronograma da Figura 90.



Fonte: AUTORA, 2020.

No cronograma noturno, mantém-se a E_m reduzida, ainda no mínimo indicado pela IES para escritórios, no período das 20h às 6h – um período no qual ocorre o pico de produção da melatonina, que não deve ser interrompido. Acompanhando o amanhecer, entre 6h e 7h, a iluminância aumenta gradativamente até atingir o ideal para os primeiros períodos da manhã, tendo como sequência o cronograma da Figura 90. Os aspectos visuais resultantes desse projeto estão representados na Figura 92.

Figura 92 – EML, fonte 3000 K: Iluminação do ambiente nas iluminâncias do cronograma



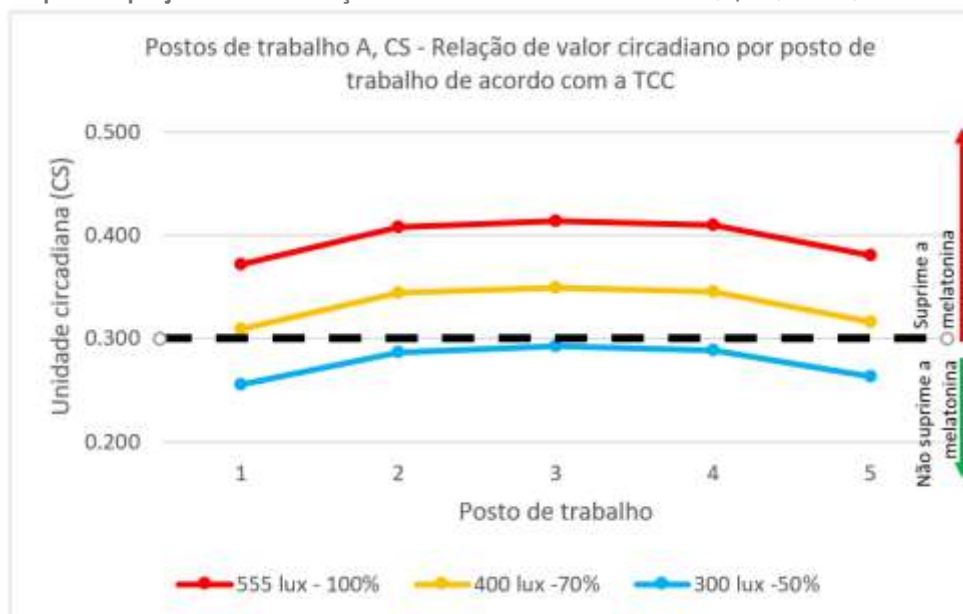
Em=300 lux (50%)

Em=555 lux (100%)

Fonte: AUTORA, 2020.

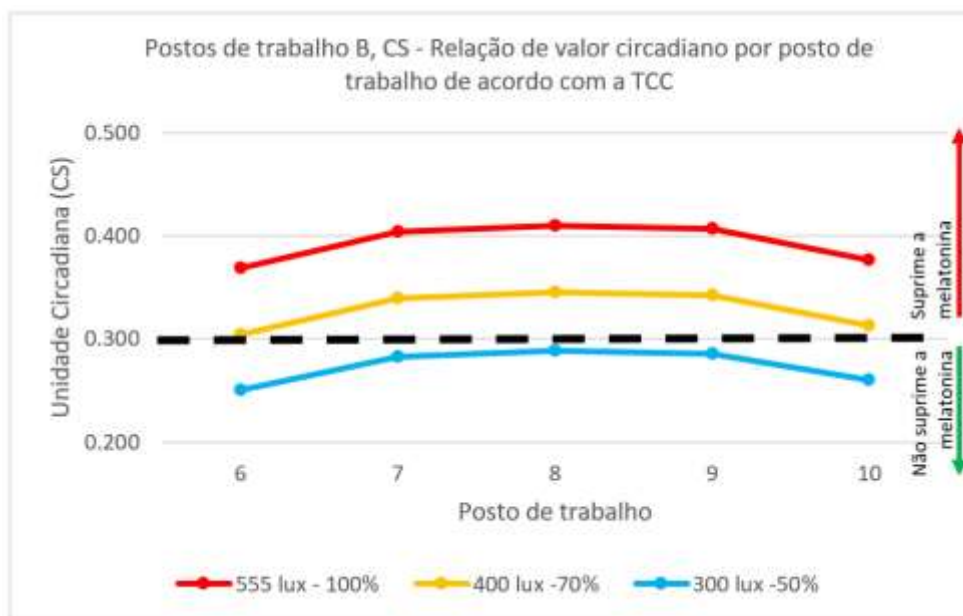
No projeto de iluminação integrativa com o CS, primeiramente, a fonte de luz de 3000 K e o seu DEP foram analisados nos gráficos da Figura 93 e da Figura 94, com a dimerização a 100% (555 lux), a 70% (400 lux) e a 50% (300 lux) em todos os postos de trabalho (Lado A e Lado B) do escritório administrativo utilizado no estudo de caso. Tanto para o Lado A quanto para o Lado B, os gráficos demonstram que a fonte de luz a 100% (555 lux) e a 70% (400 lux) tem suas E_v acima do valor mínimo sugerido - demarcado no gráfico -, ou seja, ideais para os primeiros horários da manhã. Já com a fonte de luz dimerizada a 50% (300 lux), todas as E_v dos postos de trabalho apresentam valores menores do que o mínimo indicado para o período da manhã – ideais para os períodos da tarde e noite.

Figura 93 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) da fonte 3000 K em CS para o projeto de iluminação convencional elétrica – 100%, 70% e 50% – LADO A



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 94 - Gráficos com os resultados da conversão da iluminância vertical (E_v) da fonte 3000 K em CS para o projeto de iluminação convencional elétrica – 100%, 70% e 50% – LADO B



Fonte: AUTORA, 2020.

A partir dessa avaliação e da análise dos cronogramas de referência disponíveis, o Cronograma CS – luz azul e vermelha - (Figura 47) foi o selecionado, pois a variação da E_m e da E_v permite atender aos valores mínimos desse cronograma. Portanto, em um segundo momento, desenvolveram-se dois cronogramas personalizados da dinâmica da iluminação que emprega como base as recomendações do CS ao longo do dia e da noite. Esses cronogramas seguem as diretrizes do CS e do IES para o projeto de iluminação, com todos os postos de trabalho atendendo aos requisitos mínimos.

No cronograma para o turno diurno (Figura 95), a iluminação é programada da seguinte forma: inicia com a iluminância mantida no plano de trabalho (E_m) de 555 lux, que é capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 7h às 13h, complementando com uma iluminação ambiente de cor azul; realiza uma transição de E_m de 555 lux para 300 lux, que é 50% da capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 13h às 14h, realizando uma transição da iluminação complementar; e mantém uma E_m de 300 lux, que é 50% da capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 14h às 20h, complementando com uma iluminação ambiente de cor vermelha.

Figura 95 – CS, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período diurno



Fonte: AUTORA, 2020.

No cronograma para o turno noturno (Figura 96), a iluminação é programada da seguinte forma: inicia com a iluminância mantida no plano de trabalho (E_m) de 300 lux, que é 50% da capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 20h às 6h; realiza uma transição de E_m de 300 lux para 555 lux, que é a capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, no horário das 6h às 7h; e mantém uma E_m de 555 lux, que é a capacidade de emissão do fluxo luminoso total das fontes de luz, a partir das 7h e segue o cronograma da Figura 95.

Figura 96 – CS, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período noturno

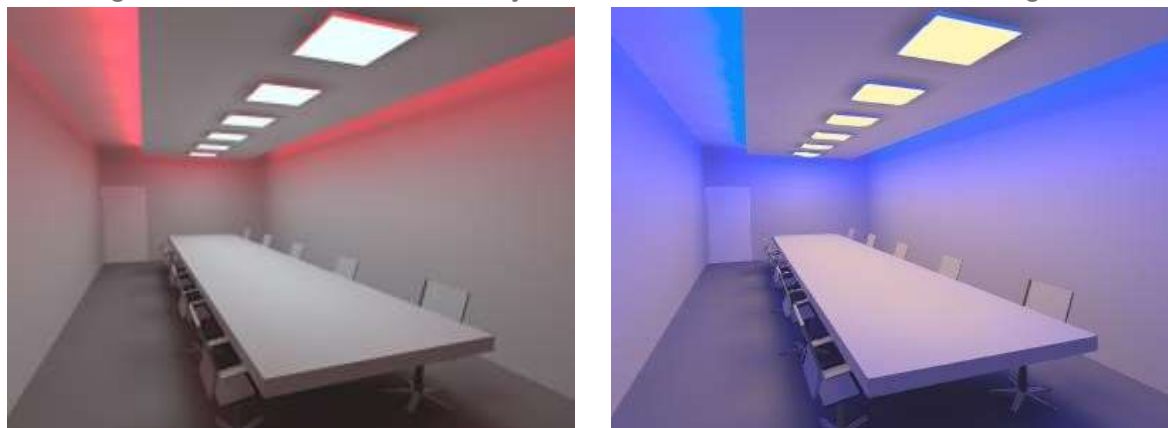


Fonte: AUTORA, 2020.

Os cronogramas desenvolvidos apresentam uma diferença nos valores de CS utilizados para o período da noite em relação àquele utilizado como referência (Figura 47). A partir das 20h, o cronograma referência indica que os valores de CS têm que atingir 0,1. Entretanto, para que isso fosse possível, o projeto teria que ter uma E_m menor que o valor mínimo indicado pela IES – o que não seria o ideal para o trabalho noturno nos aspectos visuais do projeto –, ou utilizar um DEP com maiores concentrações na região do espectro circadiano inativo. Como os valores obtidos são menores do que 0,3 – o valor recomendado para os primeiros horários da manhã e não supressor da melatonina –, optou-se por manter a E_m mínima com a adição da luz complementar vermelha. Os aspectos visuais resultantes desse projeto estão representados na Figura 97. Portanto, é possível desenvolver um projeto integrativo

com a fonte de luz indicada na metodologia mantendo uma única TCC/DEP quando a E_v e a E_m são variadas.

Figura 97 – CS, fonte 3000 K: Iluminação do ambiente nas iluminâncias do cronograma



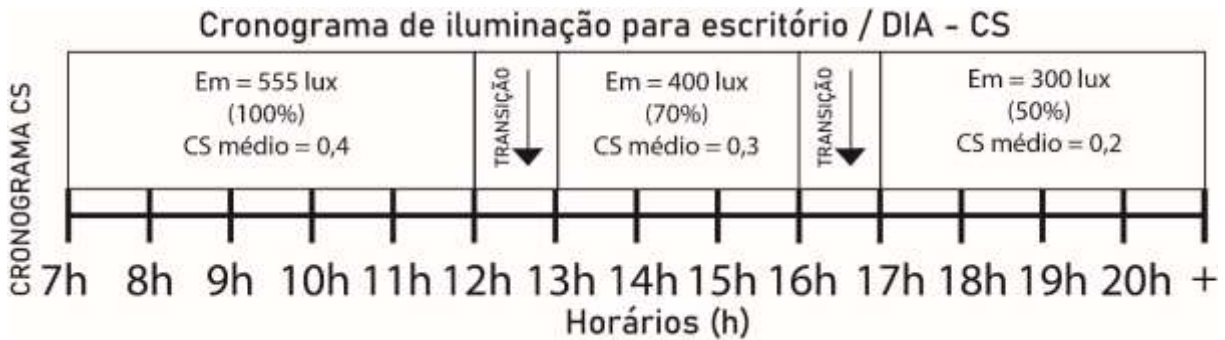
Em=300 lux (50%) + luz vermelha

Em=555 lux (100%) + luz azul

Fonte: AUTORA, 2020.

Comparando os dois projetos desenvolvidos nos resultados da fase 02, encontramos diferenças entre eles. Durante o período diurno, enquanto o CS tem bem definido qual o valor mínimo da métrica se deve atingir no período da tarde e da noite, o mesmo não acontece com o EML. A WELL deixa livre a interpretação do profissional que desenvolve o projeto – como a decisão de ir reduzindo gradativamente a iluminância de 555 lux para 300 lux ao longo do período das 13h às 20h que foi tomada nesse teste. Poderia, inclusive, ter sido utilizada no cronograma EML a mesma estratégia do cronograma CS, sem que isso prejudicasse a estratégia de projeto de iluminação integrativa. Encontraríamos desigualdades entre o cronograma diurno do EML e do CS, mesmo se o Cronograma CS 0,3 ou o Cronograma CS 0,4 fossem utilizados como base, pois seriam necessárias outras variações da E_m , como no exemplo da Figura 98 – no qual o Cronograma 0,4 foi utilizado como base.

Figura 98 – CS, fonte 3000 K: Cronograma de iluminação do escritório para o período diurno - Opção alternativa



Fonte: AUTORA, 2020.

O principal contraste entre os dois projetos desenvolvidos está na complementação do ambiente com a adição de iluminação azul durante a manhã e vermelha nos períodos da tarde e noite, requerida pelo CS. Isso pode causar uma notável mudança no aspecto visual entre os dois projetos, pois a variação da iluminância no projeto do EML é suavemente transitória – mantendo a mesma TCC – ; enquanto no CS, a transição de cores é bem perceptível. Uma outra opção de adição das luzes azul e vermelha seria através da utilização dos *dispositivos de iluminação pessoal* (p. 143-145) – o que também causaria uma alteração de projeto. Se o ambiente mantiver uma CS constante, é indicado pela métrica que se utilizem os dispositivos de iluminação – tanto o de iluminação pessoal como o de iluminação ambiente – com a cor vermelha durante o período da tarde de da noite (p.142).

No período da noite, os cronogramas funcionam de forma semelhante. O EML indica uma redução após as 20h e, assim como no período diurno, não indica o valor de EML exato, deixando-o livre à interpretação do projetista. Portanto, nesse cronograma, foi definido que o valor de EML de projeto seria menor do que o valor mínimo recomendado pelos primeiros horários da manhã (150 EML) e a Em de 300 lux atende a essa condição. O CS, como mencionado na p. 218, não pode ser menor optando-se, dessa maneira, pela Em=300 lux das 20h às 6h, com a distinção da adição da luz vermelha. Conseqüentemente, a partir da redução da Em mínima de 500 lux (indicada pela norma brasileira) para 300 lux (indicada pela IES), foi possível desenvolver um projeto de iluminação integrativa com o EML e o CS, com um cronograma para o período diurno e outro para o noturno.



HOMEM OBSERVANDO A LUMINÁRIA LED. / FOTO: DANIELA TORRES em UNSPLASH

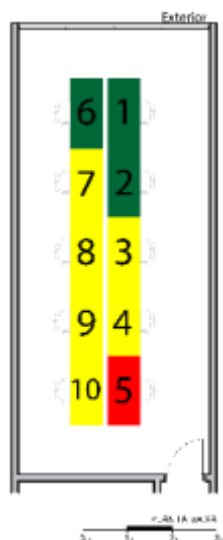
7. DISCUSSÃO

As questões discutidas neste trabalho evidenciam os avanços nas relações entre a luz e os aspectos não visuais da iluminação. Porém, as proposições iniciais e a busca pelo desenvolvimento de métricas que quantificam o impacto da luz no sistema circadiano trazem consigo a necessidade de inovação. Os procedimentos de projeto até então consolidados entre os luminotécnicos precisam ser revistos para que efetivamente sejam elaborados e implementados projetos de iluminação integrativa. Apesar de, em décadas anteriores, a busca pelo conforto visual associado à eficiência energética pautarem os projetos de iluminação, garantindo um conjunto consistente de normativas que melhoraram a eficiência e a qualidade dos sistemas, uma nova lacuna se criou. A iluminação integrativa atende aos requisitos visuais, mas ainda demanda um amadurecimento maior do conhecimento sobre as métricas e também sobre as normas que guiarão os projetistas.

Em um projeto de iluminação diurna, a iluminação natural tem potencial para ser adequadamente explorada para atender às necessidades visuais e biológicas dos ocupantes de um ambiente. Na Fase 01 do estudo de caso, a avaliação do comportamento da iluminação natural no escritório administrativo hipotético - uma análise objetiva - foi realizada a partir das orientações da norma brasileira e das orientações e cronogramas do EML e do CS (seção 5.2.2). Os resultados de céu encoberto (seção 6.1.1) e céu claro (seção 6.1.2) demonstram a importância da avaliação da iluminação natural no ambiente. Entre os céus, o céu encoberto é a situação mais crítica, enquanto o céu claro na orientação leste é a mais favorável quando consideramos em conjunto os requisitos visuais e não visuais. Apesar desse resultado, muitas vezes não é possível determinar para qual orientação solar o ambiente irá ter sua abertura.

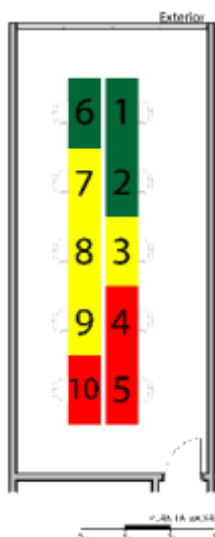
De uma forma geral, segundo essas experimentações, a escolha entre a métrica EML ou CS para desenvolver o projeto de iluminação elétrica, no mesmo ambiente com igual orientação solar, é determinante para o resultado da análise e da estratégia de desenvolvimento do projeto integrativo. Outros fatores são igualmente importantes, como as refletâncias dos materiais utilizadas no ambiente, o formato da sala e as dimensões de suas aberturas (seção 3.4.1). No exemplo da Figura 99, Figura 100 e Figura 101, é perceptível que o aperfeiçoamento do projeto integrativo deve ser realizado de forma individual para cada posto de trabalho, considerando que, no mesmo horário e época do ano, os resultados podem ser diversos.

Figura 99 - Diagrama visual dos postos de trabalho em céu claro na orientação LESTE às 8h no solstício de inverno - EML



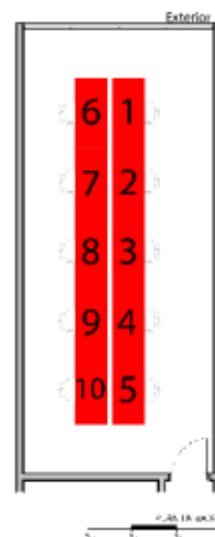
EML

Figura 100 - Diagrama visual dos postos de trabalho em céu claro na orientação LESTE às 8h no solstício de inverno - CS



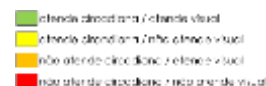
CS

Figura 101 - Diagrama visual dos postos de trabalho em céu encoberto na orientação LESTE às 8h no solstício de inverno - EML e CS



EML e CS

Fonte: AUTORA, 2020.



Comparando os postos de trabalho do EML (Figura 99) com o CS (Figura 100) no céu claro, no mesmo horário e no mesmo período do ano, vemos diferenças de classificação nos postos de trabalho 4 e 10. Portanto, o ajuste da iluminação nesses postos de trabalho para atingir o mínimo recomendado para o horário é distinto e depende da métrica circadiana escolhida, embora o mesmo ambiente (escritório) esteja sendo analisado. Na Figura 101, quando se analisa o céu encoberto, podemos perceber que nenhum posto de trabalho atinge o mínimo para atender aos requisitos visuais e não visuais no horário das 8h, tanto quando analisamos a partir das orientações do EML quanto do CS. Assim, mesmo se o posto de trabalho atender aos requisitos visuais e não visuais em céu claro, em ambas as métricas, o projeto necessita de uma complementação com a iluminação elétrica quando o céu estiver encoberto nesse horário.

Diante disso, dependendo do tipo de céu, da estação do ano e da hora, mesmo não atendendo ao requisito visual mínimo, a incidência de luz natural atende ao parâmetro mínimo determinado para o requisito não visual em um mesmo posto de trabalho. Em vista disso, o estudo evidencia que é necessária uma avaliação

criterosa da luz natural não somente para a economia de energia do ambiente, mas para o desenvolvimento de um ambiente mais saudável.

O EML, na etapa da pré-projeção, utiliza como base o resultado de simulações de iluminação natural para o planejamento da iluminação integrativa (seção 4.2.3). Dependendo do resultado das simulações de sDA 300_{lux, 50%} e ASE (seção 3.4.1) atingir ou não atingir o valor mínimo recomendado, o valor de EML varia e determina o mínimo que a iluminação elétrica do ambiente tem que atingir. Isso significa que, para essa métrica, a iluminação natural é determinante para a promoção da qualidade da iluminação desse ambiente. Essa etapa acontece porque a métrica está associada a uma certificação que foca em prover um ambiente de maior qualidade à saúde e ao bem-estar dos ocupantes de uma edificação, determinando critérios mínimos em outros aspectos relacionados a esse objetivo – ar, água, alimentação, luz, aptidão física, conforto e mente. A iluminação natural é colocada como protagonista e principal agente de melhoria na qualidade do ambiente pela certificação, e a iluminação elétrica é sua complementação para o projeto integrativo.

O CS, por sua vez, não apresenta nenhuma avaliação prévia da iluminação natural, mesmo indicando-a como uma parte fundamental do projeto integrativo. Na sua ferramenta de cálculo, podemos indicar mais de uma fonte de luz ao mesmo tempo, colocando individualmente os valores de E_v provenientes de cada uma das fontes de luz – inclusive o D65, o DEP que representa a luz diurna. Entretanto, as orientações da métrica focam no projeto de iluminação elétrica, utilizando, inclusive, luminárias com as cores azul e vermelha para complementar no que for necessário para atingir o mínimo de qualidade da iluminação (seção 4.2.4.2), de acordo com os cronogramas determinados pelo CS. A iluminação elétrica é disposta como a protagonista e a iluminação natural é disposta como a complementação para o desenvolvimento de um projeto integrativo ideal.

A iluminação natural é um recurso que deve ser mais bem aproveitado para se criar um ambiente com uma iluminação efetivamente integrativa. Mesmo que as tecnologias de iluminação elétrica se aperfeiçoem, nenhuma delas irá chegar à qualidade da luz natural com sua variação de intensidade, composição espectral e distribuição ao longo do ano, importantes para a percepção espaço-temporal do homem e para a reprodução real das cores do ambiente.

Entretanto, ainda existe uma grande dificuldade em relação ao impacto no sistema não visual do usuário quando se avalia a iluminação natural e elétrica em conjunto. As ferramentas de simulação computacional para testar soluções de desempenho de forma dinâmica ao longo do dia estão sendo desenvolvidas (seção 3.5.4). Os sistemas para ajustar a iluminância de acordo com as condições climáticas externas já estão sendo aplicados, como o projeto analisado na seção 4.4.1. Todavia, a dificuldade em determinar o DEP resultante da mistura do DEP da fonte de luz natural – que é complexo e varia conforme a localização - e o DEP da fonte de luz elétrica prejudica na conversão dos valores em EML e CS. Os DEP são informações indispensáveis nas calculadoras circadianas, em virtude disso torna-se muito complexa uma análise conjunta. Por isso, atualmente o projeto de iluminação integrativa é realizado de duas formas: ou executa-se uma análise da iluminação natural de forma específica e, a partir disso, determina-se o mínimo para o ambiente - como a Certificação WELL; ou desenvolve-se o projeto de iluminação integrativa considerando somente o impacto da iluminação elétrica no sistema não visual do usuário – como o CS.

O processo de projeto de iluminação integrativa com a fonte elétrica, de maneira geral, acontece em três etapas: primeira, a partir da utilização de programas de simulação computacional para calcular a iluminância vertical e horizontal, dependendo da fonte de luz utilizada; segunda, a partir da conversão dos valores de iluminâncias verticais em unidades circadianas, inseridas nas calculadoras de cada métrica; terceira, a avaliação quando o projeto de iluminação atende aos requisitos visuais e não visuais, repetindo todo o processo se o projeto necessitar de ajustes. Essas etapas nos permitem realizar uma avaliação e um planejamento para desenvolver um projeto de iluminação integrativa, atendendo aos requisitos visuais e não visuais mínimos para um ambiente com a qualidade ambiental adequada em um projeto realizado para o dia e outro para a noite, conforme demonstrado na Fase 01 e Fase 02 do estudo de caso. No entanto, esse processo seria facilitado e agilizado se houvesse um programa de simulação computacional específico que convertesse as iluminâncias verticais em unidades circadianas, poupando o tempo do projetista de iluminação na avaliação da qualidade do projeto.

Com base nos resultados da Fase 01 e Fase 02 do estudo de caso, constata-se que os projetos de iluminação integrativa desenvolvidos a partir das recomendações

de EML podem ser distintos daqueles desenvolvidos com o CS. Essas diferenças estão relacionadas:

- às diferentes funções de sensibilidade espectral circadianas utilizadas como base de construção das métricas, como apresentadas na seção 4.1.3;
- aos diferentes conceitos de construção de unidades, visto que, enquanto o EML busca converter os valores fotométricos em sua unidade circadiana utilizando um fator (razão melanópica) – como pode ser visto na seção 4.2.3.1 –, o CS cria uma nova unidade que torna possível a conversão de valores fotométricos somente a partir da utilização da calculadora circadiana disponibilizada pelos seus autores – como pode ser visto na seção 4.2.4.1;
- aos diferentes cronogramas indicados pelas métricas para o planejamento de iluminação integrativa ao longo do dia para um ambiente com determinada atividade, sendo necessário desenvolver um projeto para o dia e outro para a noite.

Portanto, com base nos resultados da Fase 01 e da Fase 02 do estudo de caso, podemos verificar que os projetos de iluminação integrativa apresentarão resultados diferentes daqueles projetos desenvolvidos a partir da norma de iluminação brasileira. Essas diferenças ocorrem porque:

- a norma brasileira indica somente uma iluminância mantida sob a área de tarefa realizando uma média entre os postos de trabalho, como indicado na Figura 73, enquanto a iluminância vertical para a conversão em unidade circadiana será medida para cada posto de trabalho na altura dos olhos do usuário, como indicado na Figura 67. Com isso, será necessário pensar o projeto de iluminação para o plano horizontal (plano de trabalho) e vertical (olho do usuário) simultaneamente, além de realizar uma análise de iluminância vertical mais específica para cada usuário em vez de uma iluminância média geral para os postos de trabalho;
- o projeto de iluminação convencional tem como ferramenta de cálculo de projeto somente a simulação computacional, enquanto para o projeto de iluminação integrativa será necessária também a ferramenta de cálculo específica da métrica circadiana escolhida para o seu desenvolvimento;
- as informações necessárias da fonte de luz elétrica para o planejamento do projeto convencional são a potência, o fluxo luminoso, o rendimento, a eficiência, a TCC e o IRC, enquanto para o projeto de iluminação integrativa será necessária também a informação completa do DEP;

- a norma brasileira indica uma única iluminância mantida mínima tanto para o dia quanto para a noite para uma determinada tarefa, como indicado na página 103, enquanto as métricas circadianas indicam um valor mínimo para o turno diurno e um valor máximo para o turno noturno – conseqüentemente uma E_v que pode ser variada a partir da E_m – para uma mesma tarefa, como indicam as seções 4.2.3.2 e 4.2.4.2;

- o projeto de iluminação convencional é estático – não tem diferença de parâmetros entre o dia e a noite –, enquanto o projeto de iluminação integrativa é dinâmico – muda seus parâmetros ao longo do dia e da noite;

- o projeto de iluminação convencional não necessita de uma complementação quando ele atende ao parâmetro de iluminância mantida mínima para o ambiente, enquanto para a iluminação integrativa pode ser necessária a adição de luzes ambientes complementares azuis ou vermelhas ou o uso de um dispositivo de iluminação pessoal.

Portanto, quando iniciamos o desenvolvimento de um projeto de iluminação integrativa, além das análises subjetivas e objetivas da etapa de pré-projeto da iluminação convencional já existentes – apresentadas na seção 3.2 –, incluem-se algumas relacionadas ao sistema não visual humano. **Conseqüentemente, percebe-se que o projeto de iluminação integrativa causará um impacto no processo de projeto de iluminação**, pois:

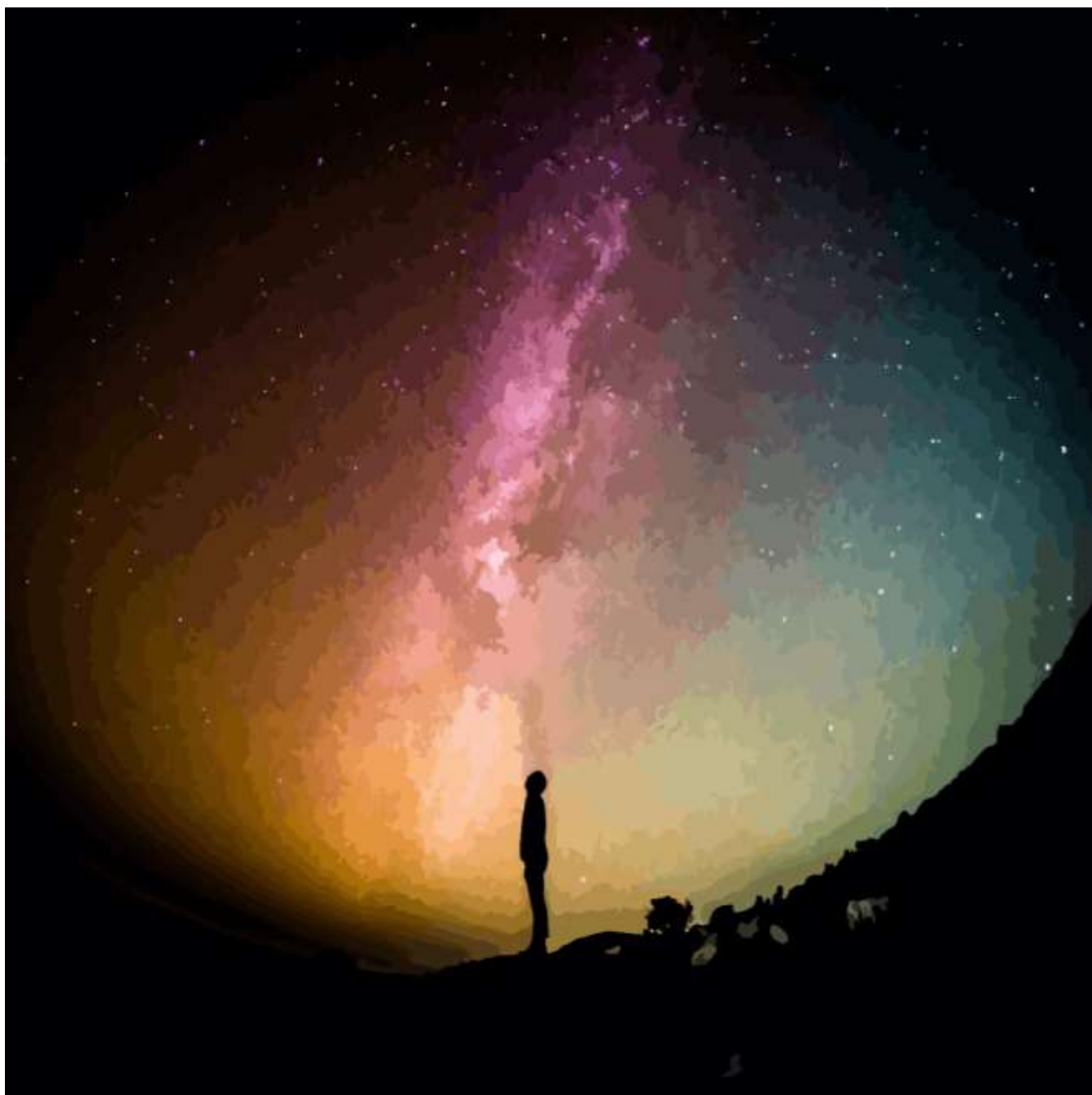
- na análise subjetiva, além dos parâmetros das normas para o desenvolvimento do projeto de iluminação convencional, será importante determinar qual a métrica circadiana (EML ou CS) e, conseqüentemente, a estratégia que será utilizada durante todo o desenvolvimento do projeto integrativo;

- na análise subjetiva, deverá ser selecionado um cronograma referência de variações da iluminação ao longo dos turnos de trabalho diurno e/ou noturno, seguindo as recomendações individuais de cada métrica circadiana.

- na projeção, será determinada qual a variante de projeto será utilizada para a iluminação dinâmica – variar o DEP ou a E_v – ou se o projeto irá empregar uma iluminação com cenários de iluminação para o dia e para a noite;

- na projeção, a seleção inicial de equipamentos deverá considerar, além do tipo de luminária (distribuição direta, direta/indireta...), a fonte de luz com as informações completas sobre sua TCC e, principalmente, sobre seu o DEP;

- na projeção, os equipamentos selecionados, preferencialmente, deverão permitir uma variação dinâmica ao longo de um período pré-determinado por um cronograma da iluminância mantida e vertical e/ou da TCC; se não for possível, a iluminação deve ser planejada para ter cenários de iluminação que podem ser acionados de acordo com a programação de um cronograma;
- na projeção, os equipamentos selecionados terão seus DEP testados para verificar se eles atendem aos parâmetros necessários para a dinâmica necessária de acordo com o cronograma referência;
- na projeção, será desenvolvido um cronograma de dinâmicas de iluminação personalizado à situação analisada no ambiente, tendo como base o cronograma referência;
- na projeção, a simulação computacional deverá ter, além do plano de cálculo para verificar a iluminância mantida (E_m) horizontal no plano de trabalho, pontos de cálculo para verificar a iluminância vertical (E_v) em cada posto de trabalho na altura dos olhos do usuário;
- na projeção, será necessária a utilização das calculadoras circadianas de cada uma das métricas para converter as unidades fotométricas em unidades circadianas.
- na pós-projeção, será necessária a medição da iluminância vertical (E_v) em cada posto de trabalho – a partir de um luxímetro ou de um aparelho medidor que converta a unidade fotométrica em unidade circadiana – para se certificar do funcionamento correto do projeto na execução.



PESSOA OBSERVANDO AS LUZES DO CÉU. / FOTO: GREG RAKOZY em UNSPLASH

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento sobre a Iluminação Integrativa está em acelerado desenvolvimento no mundo, o que influencia tanto no desenvolvimento de sistemas de iluminação elétrica mais eficientes – em energia e em qualidade – quanto nos processos de projeto de iluminação. O entendimento de como atua o sistema circadiano no corpo humano e de qual é a sua sensibilidade à luz – que varia significativamente entre indivíduos - são conceitos que estão se aperfeiçoando rapidamente e, da mesma maneira, as métricas para quantificar os diferentes impactos que a luz causa na fisiologia dos usuários dos ambientes, conseqüentemente, os seus projetos de iluminação.

Houve uma mudança de postura em relação a um passado recente dos grupos de pesquisa que desenvolveram as métricas EML e CS na divulgação das informações relacionadas à iluminação integrativa. As publicações estão mais explícitas sobre o funcionamento da aplicação de suas métricas circadianas nos projetos de iluminação como a que recentemente ocorreu com o CS - na página de internet *Lighting for healthy living* em maio de 2020 (THAYER; MORRISON; LRC-RPI, 2020b) - e com o EML - que contém amplo acesso pela página de internet do *WELL Building Institute* (IWBI, 2020a) em uma tentativa de demonstrar superioridade de um conceito sobre o outro. Além disso, o mercado da iluminação está em crescente demanda por projetos de iluminação cujo principal objetivo é criar ambientes que promovam o equilíbrio entre o indivíduo e o meio em que ele vive.

Em 2020, a humanidade viveu um episódio sem precedentes na história mundial: a pandemia de COVID-19, iniciada na China em dezembro de 2019 e que atingiu o Brasil em março de 2020²³⁴ - persistindo até o momento de publicação deste trabalho. Por causa desse fato, foram necessárias uma série de medidas de higiene e prevenção para evitar o contágio em grande escala desse vírus, como a utilização de máscaras em locais públicos e o isolamento social²³⁵. Ainda que (futuramente) isso não seja mais uma realidade, esse acontecimento deixará suas marcas e acelerará mudanças nas formas e nas dinâmicas de trabalho – que estavam ocorrendo de forma progressiva e, por necessidade, tonaram-se urgentes – e outro espaço de trabalho surge: o trabalho remoto (*home-office*). Esse ambiente será uma opção mais

²³⁴ Em nota liberada pelo Ministério da Saúde (SUS, 2020).

²³⁵ Em informativos liberados pela Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) (OPAS; OMS, 2020).

evidente, colocando o ambiente do escritório como um ponto de referência da cultura da empresa a que ele está associado, tanto para o mercado como para a equipe de colaboradores, na qualidade de um espaço de compartilhamento de informações. Esses ambientes, inclusive, poderão se tornar descentralizados e espalhados por diversas áreas das cidades, ficando mais próximos das moradias das pessoas e evitando o deslocamento para o mesmo ponto da cidade. A outra opção é criar ambientes com células de equipes de trabalho, formando grupos menores de pessoas que se deslocarão para localidades diferentes. O escritório não é um espaço que irá desaparecer – bem como os conceitos de iluminação apresentados nas páginas 83 a 85 –, mas agilizará a necessidade de um espaço projetado a partir de um conceito mais saudável e centrado no usuário, assim como a sua iluminação – que já estava nesse processo de aperfeiçoamento.

Com essas transições, o trabalhador poderá optar em ir ao ponto referência da empresa somente quando precisar estar lá – para uma reunião ou uso de algum dispositivo específico. O trabalho remoto permite realizar as tarefas em horários mais flexíveis, dando a opção para que os trabalhadores acordem mais tarde, trabalhem até mais tarde e realizem a rotina de outra forma que não a do horário social. Essa dessincronização do ciclo circadiano com o ciclo claro/escuro devido à exposição à iluminação elétrica no período noturno poderá acarretar problemas na saúde dos usuários desse ambiente. Por isso, apesar da incerteza do futuro do mercado, ele provavelmente migrará a aplicação da iluminação integrativa de escritórios para as residências.

De qualquer maneira, mesmo numa realidade sem pandemia, vivemos em uma sociedade na qual pessoas se expõem à luz elétrica excessiva à noite e atuam em trabalhos que funcionam em turnos alternados entre o dia e a noite - apesar de isso ser considerado potencialmente cancerígeno pela OMS. Diversas pesquisas apontam os impactos e as consequências que essa atividade apresenta na saúde física e mental dos trabalhadores. Apesar disso, o projeto de iluminação pode oferecer um equilíbrio entre as necessidades visuais e não visuais dos usuários/trabalhadores desses ambientes de trabalho, levando em consideração as diferentes condições para aqueles que trabalham durante o turno diurno e o turno noturno – incluindo, também, o trabalho remoto –, o que possivelmente será capaz de diminuir as consequências negativas à saúde deles.

A ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 é uma das regulamentações nacionais que busca propiciar um ambiente de trabalho em que as pessoas realizem as suas "*tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto*" (ABNT, 2013a, p. vii). Além de ser necessária uma revisão nessa norma – como apresentado por este estudo –, será fundamental uma diretriz de iluminação integrativa para que os profissionais de iluminação possam elaborar um projeto apropriado às necessidades não visuais do usuário, melhorando a qualidade do projeto luminotécnico. Entretanto, no momento presente e como demonstrado nesta pesquisa, ainda não se tem um conceito único sobre como quantificar o impacto da luz no sistema circadiano. Enquanto não houver um consenso entre os grupos de pesquisa e os órgãos reguladores sobre esse tópico, teremos diversas métricas circadianas que resultarão em projetos integrativos diferentes entre si.

A luz natural é um outro recurso que deve ser utilizado para melhorar a qualidade da iluminação de um ambiente. A falta de exposição a essa fonte pode estar associada ao aumento do risco do desenvolvimento de diversas doenças, influenciando diretamente a saúde do indivíduo que ocupa o ambiente iluminado. Apesar da melhoria da qualidade das fontes de luz elétricas, nenhuma delas alcançará a qualidade da luz natural, que varia em intensidade, composição espectral e distribuição ao longo do ano. O aproveitamento da luz natural acontece através de um projeto arquitetônico de qualidade, utilizando – novamente – as soluções tecnológicas mais avançadas como um fato impulsionador do projeto, trazendo um discurso renovado que coloca o bem-estar do usuário como o principal foco do projeto arquitetônico e luminotécnico. Esse discurso remete ao utilizado pela Arquitetura Moderna, preocupada com a economia, a higiene, a saúde e a relação das edificações com o meio ambiente – reforçado durante essa pandemia de COVID-19 –, idealizando as edificações como uma "máquina de morar".

As lâmpadas e luminárias são elementos essenciais para o desenvolvimento de um projeto luminotécnico de qualidade. Atualmente, é muito difícil algum fabricante desses elementos fornecerem dados essenciais para o desenvolvimento de projetos integrativos – como o DEP. Surgiram muitos produtos luminotécnicos – como luminárias e lâmpadas "biológicas" ou "circadianas" – nos quais a variação da temperatura de cor ao longo do dia aparece como uma solução efetiva para atender às necessidades do sistema circadiano do usuário. Contudo, muitas vezes esses produtos não foram testados ou quantificados através da perspectiva das

métricas circadianas, como foi desenvolvido no estudo de caso. Sem essa avaliação através da perspectiva das métricas, não é possível garantir a qualidade e a veracidade do funcionamento do produto para o planejamento adequado de uma iluminação integrativa. Futuramente, esses produtos poderão apresentar informações de avaliações através da perspectiva do EML ou do CS ou, minimamente, fornecer as informações técnicas completas sobre o produto para que o projetista realize essa análise.

Criar e desenvolver um projeto luminotécnico de qualidade passa pela formação dos profissionais que desenvolvem esses projetos. Por ser uma área ainda incipiente e pelo conhecimento estar centrado nos grupos de pesquisa, a iluminação integrativa é desconhecida pela maior parte dos profissionais que trabalham com iluminação. Portanto, existe a necessidade urgente de capacitação desses profissionais – em cursos de diversos níveis ou palestras de divulgação em eventos de iluminação –, transmitindo o conhecimento que está limitado aos grupos de pesquisa das universidades para o mercado de iluminação. Da mesma forma, disseminar esse conteúdo nos currículos de graduação é a base para a construção de profissionais mais qualificados em um futuro próximo.

Contudo é primordial que o profissional tenha o discernimento de que trabalhar com as variáveis humanas passa também por questões de âmbito ético: criaremos ambientes mais saudáveis ou ambientes em que as pessoas somente se tornem mais produtivas? Essas possibilidades existem a partir do planejamento da iluminação integrativa. Por exemplo, podemos, a partir do projeto de iluminação, aumentar a resposta circadiana para que o usuário fique mais alerta, conseqüentemente, aumentando a sua produtividade. Ou poderíamos respeitar os ciclos naturais da luz natural no projeto de iluminação elétrica, criando um ambiente que restabeleça o ciclo sono-vigília desse usuário. Uma manipulação inadequada desses fatores pode ter impactos irreversíveis na saúde dos usuários e o profissional deverá estar treinado e consciente dessa responsabilidade. Qual é o limite de intervenção da iluminação no sistema circadiano dos usuários? Isso é responsabilidade dos projetistas de iluminação, de profissionais de saúde ou de um trabalho conjunto entre os dois? Esse é um tema que necessitará de uma discussão aprofundada pelas pesquisas futuras.

Atualmente estamos em um momento em que *"novamente, as inovações tecnológicas [estão mudando] os princípios de projeto arquitetônico"* (MASCARÓ,

2005) e não existe um consenso sobre a forma de quantificar o impacto do projeto de iluminação no sistema circadiano, como este estudo explorou e demonstrou. Agora, os profissionais de mercado não possuem preparo para discernir qual a métrica circadiana mais adequada para o desenvolvimento do projeto integrativo e existem diversas normas sobre diversas métricas voltadas ao sistema não visual humano. Futuramente, algum órgão regulador poderá determinar uma norma unificada que padronize uma unidade para o desenvolvimento de projetos integrativos e, assim, não serão mais identificadas diferenças entre os projetos para um mesmo ambiente. Entretanto, para isso, a pesquisa sobre a forma de quantificar o impacto da luz no sistema não visual humano e os seus processos de projeto terão de preencher essa lacuna com mais discussões internacionais para a unificação desses conhecimentos.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 15215 - Iluminação natural**, 2005. a. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=12>>. Acesso em: 8 ago. 2019.

ABNT. **ABNT NBR 15215-2 Iluminação natural Parte 2 - Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**, 2005. b. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=615>>. Acesso em: 8 ago. 2019.

ABNT. **ABNT NBR 15215-3 Iluminação natural Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos**, 2005. c. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=618>>. Acesso em: 8 ago. 2019.

ABNT. **ABNT NBR 15215-4 Iluminação natural Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição**, 2005. d. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=536>>. Acesso em: 8 ago. 2019.

ABNT. **ABNT NBR 15215-1 Iluminação natural Parte 1: Conceitos Básicos e definições**, 2005. e. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=12>>. Acesso em: 8 ago. 2019.

ABNT. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior**, 2013. a. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=196479>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

ABNT. **ABNT NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho**, 2013. b. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>>. Acesso em: 8 ago. 2019.

ALBUQUERQUE, M. S. C. De; AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 37–57, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212012000200004&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 6 jun. 2018.

ALÓE, F.; AZEVEDO, A. P. De; HASAN, R. Mecanismos do ciclo sono-vigília. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, [s. l.], v. 27, n. suppl 1, p. 33–39, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-44462005000500007&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 6 jul. 2018.

ALTOÉ, L. et al. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avancados**, [s. l.], v. 31, n. 89, p. 285–297, 2017.

ANSI; IES; **ANSI / IES RP 1-12: American National Standard Practice for Office Lighting**, IES, 2013. Disponível em: <<https://www.ies.org/store/recommended-practices-and-ansi-standards/american-national-standard-practice-for-office-lighting/>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

ANTON, K. **History of the Office**. 2015. Trabalho de Conclusão (Graduação) - Politecnico di Milano, Milão, 2015.

ARAUJO, J. F.; MARQUES, N. Cronobiologia : uma multidisciplinaridade necessária. **Margem**, [s. l.], v. 15, p. 95–112, 2002.

ARENDR, J.; SKENE, D. J. Melatonin as a chronobiotic. **Sleep Medicine Clinics**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 25–39, 2005.

BANDEIRA, F. B. **Processo de Projeto em Iluminação: aspectos conceituais e prática profissional**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

BANHAM, R. **The architecture of the well-tempered environment**. 1. ed. London: The Architectural Press, 1969.

BEHLING, S.; BEHLING, S. **Sol Power - The Evolution of Solar Architecture**. New York: Prestel, 1996.

BENEVOLO, L. **A História da Arquitetura Moderna**. 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2006.

BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; TAKAO, M. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. **Science**, Washington, v. 295, n. 5557, p. 1070–1073, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.1067262>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

BIERMAN, A.; KLEIN, T. R.; REA, M. S. The Daysimeter: a device for measuring optical radiation as a stimulus for the human circadian system. **Measurement Science and Technology**, [s. l.], n. 16, p. 2292–2299, 2005. Disponível em: <<https://www.lrc.rpi.edu/programs/daylighting/pdf/daysimeter2005.pdf>>. Acesso em: 21 maio. 2019.

BOUBEKRI, M. **Daylighting, Architecture and Health - Building Design Strategies**. 1. ed. Burlington: Elsevier Ltd, 2008.

BOUBEKRI, M. **Daylighting Design: Planning Strategies and Best Practice Solutions**. [s.l.] : Birkhäuser, 2014.

BOYCE, P. R. **Human Factors in Lighting**. 1. ed. New York: Taylor&Francis, 2003.

BOYCE, P. R. Review: The Impact of Light in Buildings on Human Health. **Indoor and Built Environment**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 8–20, 2010. Disponível em: <<http://ibe.sagepub.com.proxy.cc.uic.edu/content/19/1/8>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

BRAINARD, G. C. et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. **The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience**, [s. l.], v. 21, n. 16, p. 6405–12, 2001. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11487664>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

CALDEIRA, V. Ambientes de trabalho. In: **Revista Arquitetura e Urbanismo (AU)**. Edição 133 ed. São Paulo: PINI, 2005.

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. **Cambridge Dictionary online: English-Portuguese**. 2018. Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/>>. Acesso em: 13 out. 2018.

CBIC. **Reunião GT da Comissão de Estudo de Revisão da Norma de Desempenho (ABNT/CE-002:136.001) - Bloco 2**. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=qBhBALCYvq4>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

CHAVES, N. P.; MARTAU, B. T. Repensando o projeto de iluminação: métricas de luz circadiana. In: ANAIS DO VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2019, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/sbqp19050>>. Acesso em: 27 out. 2019.

CHEN, Y. et al. Carcinogenicity of night shift work. **The Lancet. Oncology**, [s. l.], v. 20, n. 8, p. 1058–1059, 2019.

CHO, J. et al. White light-emitting diodes: History, progress, and future. **Laser & Photonics Reviews**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 1600147, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/lpor.201600147>>. Acesso em: 1 jul. 2018.

CIE. **CIE 110 - Spatial distribution of daylight - Luminance distributions of various Reference skies**, 1994. Disponível em: <<http://cie.co.at/publications/spatial-distribution-daylight-luminance-distributions-various-reference-skies>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

CIE. **CIE S 014-2/E:2006**, 2006. Disponível em: <<http://cie.co.at/publications/colorimetry-part-2-cie-standard-illuminants-colorimetry>>. Acesso em: 23 dez. 2019.

CIE. **CIE S 026 - SYSTEM FOR METROLOGY OF OPTICAL RADIATION FOR IPRGC-INFLUENCED RESPONSES TO LIGHT**, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.25039/S026.2018>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

CIE. **Userguide to the Equivalent Daylight (D65) Illuminance Toolbox**, 2019. a. Disponível em: <<https://www.nsvv.nl/wp-content/uploads/2019/03/CIE-S-026-EDI-Toolbox-Userguide-vE1.05x.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

CIE. **CIE Position Statement on Non-Visual Effects of Light - Recommending proper light at the proper time, 2nd edition**, 2019. b. Disponível em: <[http://cie.co.at/files/CIE Position Statement - Proper Light at the Proper Time \(2019\)_0.pdf](http://cie.co.at/files/CIE%20Position%20Statement%20-%20Proper%20Light%20at%20the%20Proper%20Time%20(2019)_0.pdf)>. Acesso em: 8 ago. 2019.

CLARK, E.; LESNIAK, N. Circadian Lighting Solutions Are Real and Important — Why Aren't They Being Used? **Metropolis**, New York, dez. 2017. Disponível em: <<http://www.metropolismag.com/design/circadian-lighting-survey/>>. Acesso em: 6 jul. 2018.

CLARKE, J. A.; HENSEN, J. L. M. Integrated building performance simulation: Progress, prospects and requirements. **Building and Environment**, [s. l.], v. 91, p. 294–306, 2015. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132315001602>>. Acesso em: 9 nov. 2019.

CZAJA, S. J.; NAIR, S. N. Human Factors Engineering and Systems. In: SALVENDY, G. (Ed.). **Handbook of Human Factors and Ergonomics**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2012. p. 38–56.

CZEISLER, C. A. et al. Bright light resets the human circadian pacemaker independent of the timing of the sleep-wake cycle. **Science**, [s. l.], v. 233, n. 4764, p. 667–671, 1986.

CZEISLER, C. A. Stability, Precision, and Near-24-Hour Period of the Human Circadian Pacemaker. **Science**, [s. l.], v. 284, n. 5423, p. 2177–2181, 1999. Disponível em: <<http://doi.org/10.1126/science.284.5423.2177>>. Acesso em: 28 set. 2018.

CZEISLER, C. A. Perspective: Casting light on sleep deficiency. **Nature**, Basingstoke, v. 497, p. S13, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/497S13a>>. Acesso em: 18 set. 2018.

DE CRESCENZO, F. et al. Melatonin as a treatment for mood disorders: a systematic review. **Acta Psychiatrica Scandinavica**, [s. l.], v. 136, n. 6, p. 549–558, 2017. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/acps.12755>>. Acesso em: 26 set. 2018.

DIAL GMBH. **DIALux evo manual. A collection of all wiki articles.**, 2016. Disponível em: <http://en.wiki.dialux.com/index.php/Main_Page>. Acesso em: 9 out. 2018.

DIAL GMBH. **Daylight**. 2017. Disponível em: <<https://evo.support-en.dial.de/support/solutions/articles/9000121044-daylight>>. Acesso em: 14 ago. 2019.

DIAL GMBH. **DIALux**. 2018a. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/dialux/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

DIAL GMBH. **DIALux Support**. 2018b. Disponível em: <<http://evo.support-en.dial.de/support/home>>. Acesso em: 9 out. 2018.

DILAURA, D. L. et al. **The Lighting Handbook: Reference and Application**. 10. ed. New York: IESNA Publications, 2011.

DILOUIE, C. A good energy story. **Electrical Contractor Magazine**, [s. l.], p. 1, 2009. Disponível em: <<https://www.ecmag.com/section/lighting/good-energy-story>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

DIN. **DIN SPEC 67600**, 2013. Disponível em: <<https://www.din.de/en/getting-involved/standards-committees/fnl/din-spec/wdc-beuth:din21:170956045>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

DIN. **DIN SPEC 5031-100**, 2015. Disponível em: <<https://www.din.de/en/getting-involved/standards-committees/fnl/din-spec/wdc-beuth:din21:237732095>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

DUFFY, J. F.; ZITTING, K.-M.; CHINOY, E. D. Aging and Circadian Rhythms. **Sleep Medicine Clinics**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 423–434, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsmc.2015.08.002>>. Acesso em: 27 set. 2018.

ELETROBRAS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil - Ano base 2005 - Classe residencial - Relatório Brasil**, 2007. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7BE6AA7196-E64E-4FC0-9567-994B77FB24DE%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 8 dez. 2019.

ENEZI, J. Al et al. A “Melanopic” Spectral Efficiency Function Predicts the Sensitivity of Melanopsin Photoreceptors to Polychromatic Lights. **Journal of Biological Rhythms**, [s. l.], v. 26, n. 4, p. 314–323, 2011. Disponível em: <<http://www.cvrl.org/cvrlfunctions.htm>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

ESQUENAZI, D.; DA SILVA, S. B.; GUIMARÃES, M. A. Aspectos fisiopatológicos do envelhecimento humano e quedas em idosos. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 11–20, 2014. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/revistahupe/article/view/10124>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

FIALHO, R. N. **Edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**. 2007. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16138/tde-18052010-155700/pt-br.php>>. Acesso em: 3 dez. 2019.

FIGUEIRO, M. G. et al. Circadian-effective light and its impact on alertness in office workers. **Lighting Research & Technology**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 171–183, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1177/1477153517750006>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

FIGUEIRO, M. G.; GONZALES, K.; PEDLER, D. Designing with Circadian Stimulus. **Ld+a**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 31–33, 2016. Disponível em: <https://www.lrc.rpi.edu/resources/newsroom/LDA_CircadianStimulus_Oct2016.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2018.

FIGUEIRO, M. G.; REA, M. S. Quantifying Circadian Light and Its Impact. **Architectural Lighting**

Magazine, [s. l.], 2017. Disponível em: <http://www.archlighting.com/technology/quantifying-circadian-light-and-its-impact_o>. Acesso em: 21 jul. 2018.

FIGUEIRO, M. G.; REA, M. S.; WARD, G. J. **Web CS Calculator**. 2019. Disponível em: <<https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

FOSTER + PARTNERS. **Business Promotion Center**. 1993. Disponível em: <<https://www.fosterandpartners.com/projects/business-promotion-centre/>>. Acesso em: 3 nov. 2020.

FOSTER + PARTNERS. **Hankook Tecnoplex**. 2020. Disponível em: <<https://www.fosterandpartners.com/projects/hankook-technoplex/>>. Acesso em: 3 nov. 2020.

FRAMPTON, K. **História Crítica da Arquitetura Moderna**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2015.

GALL, D.; BIESKE, K. Definition and measurement of circadian radiometric quantities. **Proceedings of the CIE Symposium '04 on Light and Health: Non-Visual Effects**, [s. l.], n. October, p. 129–132, 2004.

GATTER, L. S. **The Office: an analysis of the evolution of a workplace**. 1982. Dissertação - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1982.

GENTILE, N. et al. Energy saving potential for Integrated Daylighting and Electric Lighting Design via user-driven solutions: a literature review. In: PROCEEDINGS OF THE 29TH QUADRENNIAL SESSION OF THE CIE 2019, **Anais...** : International Commission on Illumination, CIE, 2019. Disponível em: <http://files.cie.co.at/x046_2019/x046-OP32.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2020.

GIBSON, K. S.; TYNDALL, E. P. T. Visibility of Radiant Energy. **Scientific papers of the Bureau of Standards**, [s. l.], v. 19, p. 131–191, 1923.

GILLETE, M. U. Molecular Biology. In: **SpringerReference**. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.

GROAT, L.; WANG, D. **Architectural Research Methods**. 1. ed. Hoboken: Wiley & Sons, 2013.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11. ed. São Paulo: Elsevier Inc., 2011.

HAANS, A. The natural preference in people's appraisal of light. **Journal of Environmental Psychology**, [s. l.], v. 39, p. 51–61, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.04.001>>. Acesso em: 19 set. 2018.

HAITZ, R.; TSAO, J. Y. Solid-state lighting: "The case" 10 years after and future prospects. **Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science**, [s. l.], v. 208, n. 1, p. 17–29, 2011.

HARB, F.; HIDALGO, M. P.; MARTAU, B. T. Lack of exposure to natural light in the workspace is associated with physiological, sleep and depressive symptoms. **Chronobiology International**, London, v. 32, n. 3, p. 368–375, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3109/07420528.2014.982757>>. Acesso em: 11 mar. 2019.

HARGADON, A. B.; DOUGLAS, Y. When Innovations Meet Institutions: Edison and the Design of the Electric Light. **Administrative Science Quarterly**, [s. l.], v. 46, n. 3, p. 476, 2001. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3094872?origin=crossref>>. Acesso em: 1 jul. 2018.

HECHT, J. Better than sunshine. **New Scientist**, [s. l.], v. 214, n. 2871, p. 42–45, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0262407912616984>>. Acesso em: 19 set. 2018.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. In: 2016 49TH HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES (HICSS) 2016, **Anais...** : IEEE, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7427673/>>. Acesso em: 4 jul. 2018.

HESCHONG MAHONE GROUP. **Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment** California Energy Commision. Fair Oaks. Disponível em: <http://h-m-g.com/downloads/Daylighting/order_daylighting.htm>. Acesso em: 26 out. 2019.

HILL, S. M. et al. Melatonin: An inhibitor of breast cancer. **Endocrine-Related Cancer**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. R183–R204, 2015.

HOBSBAWM, E. J. **Da revolução industrial inglesa ao imperialismo**. 6. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2011.

IBÁÑEZ, C. Scientific Background Discoveries of Molecular Mechanisms Controlling the Circadian Rhythm. **Nöbelförsamlingen - The Nobel Assembly at Karolinska Institutet**, [s. l.], p. 7, 2017. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2017/advanced-medicineprize2017.pdf>. Acesso em: 6 maio. 2018.

IEA. **IEA SHC Task 61**. 2019. Disponível em: <<http://task61.iea-shc.org/>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

IES. **Recommended Practice for Lighting and the Visual Environment for Senior Living ANSI/IESNA RP-28-07**. 1. ed. New York, NY: IESNA Publications, 2007.

IES. **IES LM-83-12**. 2013. Disponível em: <<https://www.ies.org/product/ies-spatial-daylight-autonomy-sda-and-annual-sunlight-exposure-ase/>>. Acesso em: 3 nov. 2019.

IES. **ANSI/IES RP-16-17, Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering**. 2018. Disponível em: <<https://www.ies.org/standards/ansi-ies-rp-16/>>. Acesso em: 11 out. 2018.

IES. **PS-12-19: IES Position On UL RP 24480 Regarding Light and Circadian Entrainment – Illuminating Engineering Society**. 2019. Disponível em: <<https://www.ies.org/about-outreach/position-statements/ps-12-19-ies-position-on-ul-rp-24480-regarding-light-and-circadian-entrainment/>>. Acesso em: 21 jul. 2019.

INNES, M. **Iluminação no Design de Interiores**. 1. ed. São Paulo: Editora Gustavo Gili, 2014.

IWBI. **WELL Building Standard V1**. 2014. Disponível em: <<https://www.wellcertified.com/certification/v1/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

IWBI. **WELL Building Standard V2**. 2020a. Disponível em: <<https://v2.wellcertified.com/v/en/overview>>. Acesso em: 20 maio. 2019.

IWBI. **Circadian Lighting Design v2**. 2020b. Disponível em: <<https://v2.wellcertified.com/v/en/light/feature/3>>. Acesso em: 20 maio. 2019.

IWBI. **WELL Projects**. 2020c. Disponível em: <<https://www.wellcertified.com/directories/projects>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

JACKSON, R. J. The Impact of the Built Environment on Health: An Emerging Field. **American Journal of Epidemiology**, [s. l.], v. 93, n. 9, p. 1382–1394, 2003. Disponível em: <<http://doi.org/10.2105/AJPH.93.9.1382>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

JACOBSEN, J. **IES vs. UL: Battle Over Circadian Lighting ‘Standards’ - CE Pro**. 2019. Disponível em: <https://www.cepro.com/article/ies_vs_ul_battle_over_circadian_lighting_standards>.

Acesso em: 21 jul. 2019.

JURUENA, M. F.; CLEARE, A. J. Superposição entre depressão atípica, doença afetiva sazonal e síndrome da fadiga crônica. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, [s. l.], v. 29, n. suppl 1, p. s19–s26, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbp/v29s1/a05v20s1.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2018.

KELLY, R. LIGHTING AS AN INTEGRAL PART OF ARCHITECTURE. **College Art Journal**, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 24–30, 1952. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/773361>>. Acesso em: 8 dez. 2019.

KURLANSIK, S. L.; IBAY, A. D. Seasonal affective disorder. **American Family Physician**, [s. l.], v. 86, n. 11, p. 1037–1041, 2012. Disponível em: <<http://bjp.rcpsych.org/content/182/2/174>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, PROCEL EDIFICA, 2014. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2018.

LANG, D. Energy efficient lighting for the biological clock. In: (K. P. Streubel et al., Eds.) 2011, **Anais... : International Society for Optics and Photonics**, 2011. Disponível em: <<http://doi.org/10.1117/12.875323>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

LECHNER, N. **Heating, Cooling, Lighting**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

LEWY, A. J. et al. Light Suppresses Melatonin Secretion in Humans. **Science**, [s. l.], v. 210, n. September, p. 1267–1268, 1980.

LICHT.DE. **Office lighting: motivating and efficient**, 2012. Disponível em: <https://en.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1208_lw04_E_Office_Lighting_Motivating_and_Efficient_web.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2018.

LICHT.DE. Impact of Light on Human Beings. **Licht Wissen 19**, Frankfurt am Main, v. 19, 2014. Disponível em: <http://en.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1409_LW19_E_Impact-of-Light-on-Human-Beings_web.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.

LICHT.DE. Guide to Human Centric Lighting (HCL). **Licht Wissen 21**, Frankfurt am Main, v. 21, 2016. Disponível em: <https://en.licht.de/fileadmin/Publications/licht-wissen/1809_lw21_E_Guide_HCL_web.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

LIMA, M. R. C. De. **Percepção Visual Aplicada à Arquitetura e a Iluminação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2010.

LOCKLEY, S. W.; BRAINARD, G. C.; CZEISLER, C. A. High Sensitivity of the Human Circadian Melatonin Rhythm to Resetting by Short Wavelength Light. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, [s. l.], v. 88, n. 9, p. 4502–4502, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1210/jc.2003-030570>>. Acesso em: 18 set. 2018.

LUCAS, R. J. et al. **Irradiance Toolbox User Guide**, 2013. Disponível em: <<http://lucasgroup.lab.manchester.ac.uk/measuringmelanopicilluminance/>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

LUCAS, R. J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends in Neurosciences**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 1–9, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

MACCHI, M. M.; BRUCE, J. N. Human pineal physiology and functional significance of melatonin. **Frontiers in Neuroendocrinology**, [s. l.], v. 25, n. 3–4, p. 177–195, 2004.

MARTAU, B. T. **A luz além da visão: a iluminação e sua relação com a saúde e bem-estar de funcionárias de lojas de rua e de shoppings centers em Porto Alegre**. 2009. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MARTAU, B. T.; HENRICH, D. Luz e saúde aplicada aos projetos. **Lume Arquitetura**, São Paulo, v. 102, p. 24–31, 2020. Disponível em: <www.lumearquitetura.com.br>. Acesso em: 16 jun. 2020.

MASCARÓ, L. Iluminação e arquitetura: sua evolução através do tempo. **Arquitexto**, [s. l.], v. 063, n. 8, p. 5, 2005. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.063/438>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

MATTIS, J.; SEHGAL, A. Circadian Rhythms, Sleep, and Disorders of Aging. **Trends in Endocrinology and Metabolism**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 192–203, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tem.2016.02.003>>. Acesso em: 27 set. 2018.

MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Editora Melhoramentos LTDA, 2020. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 21 jun. 2019.

MME. **Portaria interministerial n.1007, de 31 de dezembro de 2010**, 2010. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/904396/Portaria_interministerial+1007+de+31-12-2010+Publicado+no+DOU+de+06-01-2011/d94edaad-5e85-45de-b002-f3ebe91d51d1?version=1.1>. Acesso em: 13 jul. 2018.

MME. **Lâmpadas incandescentes saem do mercado a partir do dia 30 de junho**. 2016. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/lampadas-incandescentes-saem-do-mercado-a-partir-do-dia-30-de-junho>. Acesso em: 13 jul. 2018.

MORENO, C. R. . et al. Working Time Society consensus statements: Evidence-based effects of shift work on physical and mental health. **Industrial Health**, [s. l.], v. 57, p. 139–157, 2019. Disponível em: <https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth/57/2/57_SW-1/_pdf/-char/en>. Acesso em: 16 jul. 2019.

NEUFERT, E. Edifícios de Escritórios. In: **Neufert - Arte de projetar em arquitetura**. 18. ed. São Paulo: Gustavo Gili, 2013. p. 567.

OFFICE MUSEUM. **Escritório**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.officemuseum.com/FranByrneChicagoOffice2OM.jpg>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

OPAS; OMS. **Considerações sobre ajustes à medidas de distanciamento social e relativas a viagens relacionadas à pandemia de COVID-19**. 2020. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/brasil/consideracoes-sobre-ajustes-medidas-distanciamento-social-e-relativas-viagens-relacionadas>>. Acesso em: 27 set. 2020.

PAULEY, S. M. Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. **Med Hypotheses**, [s. l.], v. 63, n. 4, p. 588–596, 2004.

PERKINS+WILL. **American Society of Interior Designers (ASID) HEADQUARTERS** 2016. Disponível em: <<https://perkinswill.com/work/american-society-interior-designers-headquarters>>. Acesso em: 20 maio. 2019.

PERKINS+WILL. **Design Impacts Lives ASID HQ OFFICE RESEARCH - Pre-/Post-Occupancy Analysis 2017**. Washington. Disponível em: <<https://www.asid.org/news/asid-releases-comprehensive>>.

research-study-on-the-impact-of-design-in-the-workplace>. Acesso em: 20 maio. 2019.

PETTY, M. M. Illuminating the Glass Box: The Lighting Designs of Richard Kelly. **Journal of the society of architectural historians**, Berkeley, v. 66, n. 2, p. 194–219, 2007. Disponível em: <<http://doi.org/10.1525/jsah.2007.66.2.194>>. Acesso em: 2 dez. 2019.

PHILLIPS, A. J. K. et al. High sensitivity and interindividual variability in the response of the human circadian system to evening light. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], p. 201901824, 2019. Disponível em: <<http://doi.org/10.1073/pnas.1901824116>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Código de Obras de Porto Alegre / lei 284**, 1992. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-porto-alegre-rs>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

PRICE, L. L. A. et al. **CIE TN 003 (2015)**. Didsbury. Disponível em: <http://files.cie.co.at/785_CIE_TN_003-2015.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2019.

PROVENCIO, I. et al. Melanopsin: An opsin in melanophores, brain, and eye. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 95, n. 1, p. 340–345, 1998.

PUPO, R. T.; SCARAZZATO, P. S.; DELBIN, S. Simulação De Iluminação Artificial Em Ambientes , através de análise e comparação de softwares. In: IX ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2007, Ouro Preto. **Anais... Ouro Preto** Disponível em: <http://www.infohab.org.br/encac/files/2007/ENCAC07_1558_1567.pdf>. Acesso em: 3 out. 2018.

RASSIA, S. T. Office Building: A Brief Historical Overview. In: **SpringerBriefs in Public Health**. New York: Springer New York, 2017. p. 9–15.

REA, M. S. et al. A model of phototransduction by the human circadian system. **Brain Research Reviews**, [s. l.], v. 50, n. 2, p. 213–228, 2005. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.07.002>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

REA, M. S. et al. Corrigendum to “A model of phototransduction by the human circadian system” [Brain Res. Rev. 50/2 (2005) 213–228]. **Brain Research Reviews**, [s. l.], v. 56, n. 1, p. 270, 2007. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.08.003>>. Acesso em: 3 ago. 2018.

REA, M. S. et al. Circadian light. **Journal of Circadian Rhythms**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 10, 2010. Disponível em: <<http://doi.org/10.1186/1740-3391-8-2>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

REA, M. S. et al. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. **Lighting Research & Technology**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 386–396, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/1477153511430474>>. Acesso em: 15 set. 2018.

REA, M. S. **Value Metrics for better lighting**. 1. ed. Bellingham: SPIE Press, 2013.

REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G. What Is “Healthy Lighting?” **International Journal of High Speed Electronics and Systems**, [s. l.], v. 20, n. 02, p. 321–342, 2011. Disponível em: <<http://doi.org/10.1142/S0129156411006623>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G. Light as a circadian stimulus for architectural lighting. **Lighting Research & Technology**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 497–510, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1177/1477153516682368>>. Acesso em: 6 out. 2018.

REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G.; BULLOUGH, J. D. Circadian photobiology: An emerging framework

for lighting practice and research. **Lighting Research & Technology**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 177–187, 2002.

SACK, R. L. et al. Circadian Rhythm Sleep Disorders: Part I, Basic Principles, Shift Work and Jet Lag Disorders. **Sleep**, [s. l.], v. 30, n. 11, p. 1460–1483, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/sleep/30.11.1460>>. Acesso em: 16 maio. 2019.

SALVENDY, G. **Handbook of Human Factors and Ergonomics**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2012.

SCALCO, V. A.; PEREIRA, F. O. R. Método para a avaliação do impacto de edificações no acesso à iluminação natural em vizinhanças urbanas aplicado em cenários virtuais. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 169–187, 2016. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/s1678-86212016000200086>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

SCHADE, P.; ORTNER, H. M.; SMID, I. Refractory metals revolutionizing the lighting technology: A historical review. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, [s. l.], v. 50, p. 23–30, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2014.11.002>>. Acesso em: 1 jul. 2018.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Geneva: World Economic Forum, 2016.

SELMAOUI, B.; TOUITOU, Y. Reproducibility of the circadian rhythms of serum cortisol and melatonin in healthy subjects: a study of three different 24-h cycles over six weeks. **Life Sciences**, [s. l.], v. 73, n. 26, p. 3339–3349, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.05.007>>. Acesso em: 25 set. 2018.

SOLEMMMA LLC. **DIVA for Rhino**, 2020. Disponível em: <<https://www.solemma.com/Diva.html>>. Acesso em: 2 ago. 2018.

STEFFY, G. R. **Architectural Lighting Design**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

STERLING, T. D.; COLLETT, C.; RUMEL, D. A epidemiologia dos “edifícios doentes”. **Revista Brasileira de Saúde Pública**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 56–63, 1991. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rsp/v25n1/12.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

SUS. **Organização Mundial de Saúde declara pandemia do novo Coronavírus**. 2020. Disponível em: <<https://www.unasus.gov.br/noticia/organizacao-mundial-de-saude-declara-pandemia-de-coronavirus>>. Acesso em: 27 set. 2020.

THAPAN, K.; ARENDT, J.; SKENE, D. J. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. **The Journal of physiology**, [s. l.], v. 535, n. Pt 1, p. 261–7, 2001. Disponível em: <<http://doi.org/10.1111/J.1469-7793.2001.T01-1-00261.X>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

THAYER, A.; MORRISON, M.; LRC-RPI. **What is Circadian Lighting?** 2020a. Disponível em: <<https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving/#section-whatIsCircadianLighting>>. Acesso em: 25 maio. 2020.

THAYER, A.; MORRISON, M.; LRC-RPI. **Lighting for Healthy Living**. 2020b. Disponível em: <<https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

THAYER, A.; MORRISON, M.; LRC-RPI. **Lighting for Offices**. 2020c. Disponível em: <[https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving/img/background/additional_information/downloads/Lighting for Offices.pdf](https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving/img/background/additional_information/downloads/Lighting%20for%20Offices.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2020.

THAYER, A.; MORRISON, M.; LRC-RPI. **Personal Lighting Devices**. 2020d. Disponível em:

<<https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving/#section-personalLightDevices>>. Acesso em: 23 jun. 2020.

THAYER, A.; MORRISON, M.; LRC-RPI. **PaperSun: How to make a circadian light device**. 2020e. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=__QsTrrlC2s&feature=youtu.be>.

THAYER, A.; MORRISON, M.; LRC-RPI. **Components of circadian design**. 2020f. Disponível em: <<https://www.lrc.rpi.edu/healthyliving/#section-fundamentalsSummary>>. Acesso em: 23 jun. 2020.

TOH, K. L. Basic Science Review on Circadian Rhythm Biology and Circadian Sleep Disorders. **Academy of Medicine Singapore**, [s. l.], v. 37, n. 8, p. 662–668, 2008. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/1d83/13826a2de915cf917c8413b595ce2b9a15ae.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2018.

TOSINI, G.; FERGUSON, I.; TSUBOTA, K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. **Molecular vision**, [s. l.], v. 22, n. Janeiro 2016, p. 61–72, 2016. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4734149>>. Acesso em: 6 ago. 2018.

TOUITOU, Y.; SELMAOUI, B. The effects of extremely low-frequency magnetic fields on melatonin and cortisol, two marker rhythms of the circadian system. **Dialogues in Clinical Neuroscience**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 381–399, 2012.

UL. **UL RP 24480**. Northbrook. Disponível em: <https://edisonreport.com/wp-content/uploads/2019/04/UL_NEMA_2019.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2019.

US GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED v4.1**. 2019. Disponível em: <<https://new.usgbc.org/>>. Acesso em: 20 maio. 2019.

VAN BOMMEL, W. J. M. Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work. **Applied Ergonomics**, [s. l.], v. 37, n. 4, p. 461–466, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687006000524>>. Acesso em: 25 set. 2018.

VEITCH, J. A. Psychological Processes Influencing Lighting Quality. **Journal of the Illuminating Engineering Society**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 124–140, 2001. Disponível em: <<http://doi.org/10.1080/00994480.2001.10748341>>. Acesso em: 6 jun. 2018.

WALERCZYK, S. Human Centric Lighting. **Architectural SSL**, [s. l.], p. 5, 2012. Disponível em: <[https://www.lightmoves.com.au/downloads/Downloads/Tunable White Studies/Human Centric Lighting Whitepaper.pdf](https://www.lightmoves.com.au/downloads/Downloads/Tunable%20White%20Studies/Human%20Centric%20Lighting%20Whitepaper.pdf)>. Acesso em: 6 jul. 2018.

WITZEL, D. **DIALux evo - new calculation method**, 2012. Disponível em: <https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALux_downloads/DIALux_evo-New_calculation_method.pdf>. Acesso em: 9 out. 2018.

ZIELINSKA-DABKOWSKA, K. M. Make lighting healthier. **Nature**, New York, v. 553, n. 7688, p. 274–276, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.1038/d41586-018-00568-7>>. Acesso em: 6 jul. 2018.

ZIELINSKA-DABKOWSKA, K. M.; BOCHNAK, B. Creating a more conscious built environment for day and night-time settings through interdisciplinary collaboration. In: PLDC 6TH GLOBAL LIGHTING DESIGN CONVENTION 2017, Paris. **Anais...** Paris: PLDC 6th Global Lighting Design Convention, 2017.

APÊNDICES

APENDICE A – ARTIGO PUBLICADO NO VI SBQP EM UBERLÂNDIA 2019



REPENSANDO O PROJETO DE ILUMINAÇÃO: AVALIAÇÃO DE MÉTRICAS DE LUZ CIRCADIANA

CHAVES, Nathali Pimentel

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura (PROPAR), e-mail: nathali.chaves@ufrgs.br

MARTAU, Betina Tschiedel

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura (PROPAR), e-mail: betina.martau@ufrgs.br

RESUMO

Nos últimos quinze anos, a pesquisa sobre os mecanismos que regem as relações entre a iluminação arquitetônica e os processos de regulação circadiana no corpo humano cresceram em produção. Porém, pouco se avançou na aplicação desses conceitos na prática de projeto. Os exemplos são poucos e a mensuração dos resultados dos mesmos não é clara. O problema está relacionado a descoberta, nos anos 2000, do fotorreceptor no olho humano (ipRGC) e da sua relação direta com o ciclo claro-escuro, não apenas no processo da visão, mas também na regulação de processos fisiológicos (ritmos circadianos). Os métodos de projeto existentes são voltados ao conforto visual e não atendem as necessidades relacionadas a regulação circadiana. Esse artigo busca comparar a aplicação de duas métricas circadianas com os requisitos para desempenho de tarefas visuais em um espaço arquitetônico. As métricas avaliadas foram o Lux Melanópico Equivalente e Estímulo Circadiano. A metodologia abrangeu estudo de caso (escritório hipotético) através de simulação computacional (DIALuxEvo 8). Foram utilizados dois planos de cálculo de iluminância com malha padrão: no plano de trabalho (iluminância mantida), seguindo a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1; e ao nível do observador (1,20m) com cálculo de iluminância vertical segundo recomendações das métricas circadianas. Identificamos diferenças entre as funções de sensibilidade espectral, métodos de conversão e que os requisitos para visão não atenderiam aos requisitos para saúde. O estudo buscou evidenciar o impacto que as métricas circadianas causam no processo de projeto de iluminação e normas vigentes, contribuindo para discussão sobre a qualidade da iluminação.

Palavras-chave: Projeto luminotécnico, Iluminação circadiana, Simulação computacional, Métricas circadianas.

ABSTRACT

During the last fifteen years, the research about mechanisms that set the relations between architectural lighting and circadian regulation processes in the human body grew in production. However, little progress has been made in applying these concepts to architectural design practice. There are just few examples and their impacts evaluation are not clear. The problem is related with the discovery, in the 2000's, of the photoreceptor in the human eye (ipRGC) and its direct relation with the light-dark cycle, not only with the vision processes, but also in the physiological processes (circadian rhythms). The available design methods are focused on visual comfort and do not meet needs related with circadian regulation. This article pursues to compare two circadian lighting metrics with visual tasks performance requirements for an architectural space. Equivalent Melanopic Lux and Circadian Stimulus were the circadian lighting metrics evaluated. The methodology covered case study (hypothetical office) through computer simulation (DIALuxEvo8). Two calculation illuminance plans with a standard grid were used: a work plan (horizontal illuminance), according ABNT NBR ISO/CIE 8995-1; and at the observer's plan (1,20m) with vertical illuminance calculation according circadian lighting recommendations. Differences were identified between the spectral sensibilities' functions and conversion methods. We also concluded,

as expected, that the visual requirements do not meet health requirements considering the design methods. The purpose of the study was to highlight the circadian lighting metrics' impact in the lighting design process and current standards, contributing with the discussion about lighting quality.

Keywords: Lighting design, Circadian lighting, Computer simulation, Circadian metrics.

1. INTRODUÇÃO

Por muito tempo, a base dos projetos luminotécnicos era garantir as condições de conforto visual com iluminância adequada e evitando ofuscamentos. Ferramentas de cálculo e simulação tornaram-se fundamentais para acelerar o processo de projeto e alcançar representações mais realísticas dos efeitos da luz. Porém, a introdução da tecnologia *Light Emitting Diodes* (LED) e a descoberta de novos processos fisiológicos medidos pela luz, geraram o que poderíamos chamar de uma "revolução luminotécnica". O LED, por implementar equipamentos com desempenho luminoso mais eficiente, porém com comportamento fotométrico diferente das antigas incandescentes e fluorescentes e o segundo, por exigir conhecimentos multidisciplinares para lidar com os impactos da iluminação na saúde dos usuários, principalmente em relação a regulação dos ritmos circadianos, cuja alteração está diretamente relacionada a doenças como transtornos do humor, diabetes e câncer (TOUITOU; REINBERG; TOUITOU, 2017).

A luz captada é orientada pelo cristalino (que funciona como uma lente) e chega à retina, onde é transformada em impulsos nervosos. A retina é a camada do olho humano sensível a luz, onde estão presentes diversas estruturas celulares que participam desse processo, chamadas células fotorreceptoras. São duas as células fotorreceptoras anteriormente conhecidas: os cones e os bastonetes. Os cones são células fotorreceptoras relacionadas com a visão diurna e com a percepção das cores (fotópica) e são sensíveis aos comprimentos de onda mais longos do espectro visível. Já os bastonetes, são relacionadas com a visão noturna e a percepção de claro e escuro (escotópica), sendo mais sensíveis aos comprimentos de onda curtos (GUYTON; HALL, 2011).

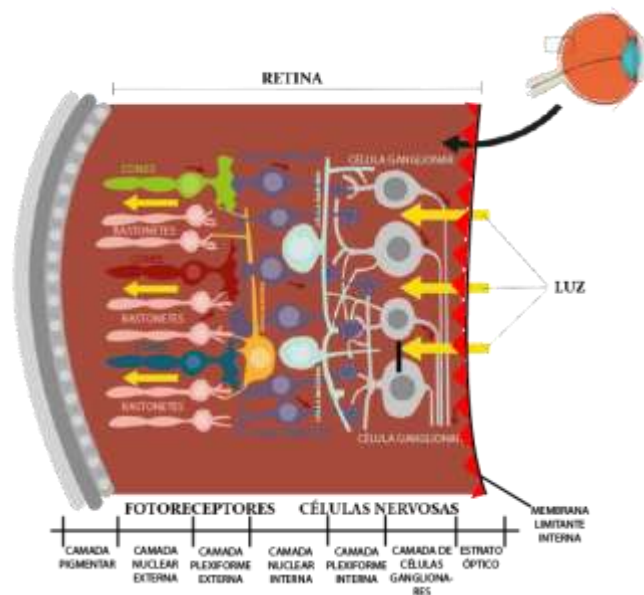


Figura 1 – Fisiologia da Retina do Olho Humano-

Fonte: Adaptado pelas autoras de GUYTON e HALL (2011)

Em 2002, a partir da descoberta de novos fotorreceptores (ipRGC) dentro do globo ocular humano (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002), iniciou-se uma outra fase na área de projeto de iluminação. Essas estruturas conhecidas como “Células Ganglionares da Retina Fotorreceptoras Intrinsecamente Fotossensíveis” (ipRGC), são encontradas por toda a camada da retina do olho humano e extremamente sensíveis a região azul do espectro visível (Figura1). Portanto, a luz tem uma influência muito maior do que questões relacionadas somente à visão, regulando o ciclo circadiano, que é o ritmo de vinte e quatro horas de diversos processos fisiológicos humanos, como ritmo de sono e vigília. Até atingir a glândula pineal no centro do cérebro (Figura 2), o raio luminoso é conduzido por um sistema não visual, emitindo mensagem para produção de um hormônio chamado melatonina. Regulado pelo ciclo claro e escuro do dia/noite, esse sistema tem como função a adaptação do corpo humano ao ambiente em que está inserido (BOYCE, 2003). A melatonina é um hormônio que prepara o organismo para o sono, restabelecendo o equilíbrio orgânico e a reduzindo temperatura corporal a noite. A secreção da melatonina é suprimida com maior intensidade pela luz branca e liberada quando há escuro, sendo considerada um marcador de ritmo da estrutura temporal circadiana (BERSON; DUNN; TAKAO, 2002; BOYCE, 2003; TOH, 2008).

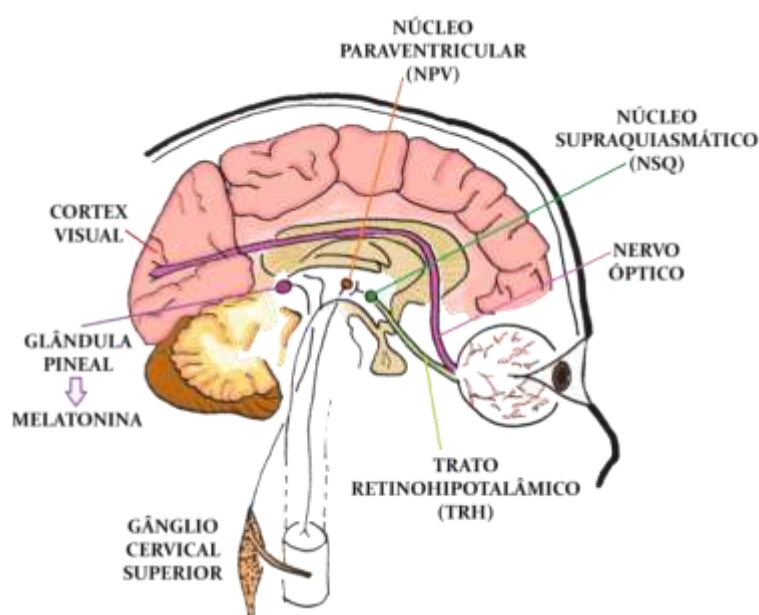


Figura 2 – Sistema que regula o ciclo circadiano no cérebro humano-

Fonte: Adaptado pelas autoras de BOYCE (2003)

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A urbanização crescente das últimas décadas e o aumento do trabalho e iluminação noturnos, fez com que muitos desses processos passassem a sofrer o que a medicina chama de “dessincronização”, onde o cérebro é “confundido” mantendo as funções biológicas relacionadas ao ciclo claro mesmo a noite. Ao longo do tempo, ficar nessas “condições artificiais” pode levar ao desenvolvimento de doenças, como provaram pesquisas que buscavam compreender quais os fatores (ou propriedades da luz) influenciavam essa regulação mediada por esse novo fotorreceptor (ZIELINSKA-DABKOWSKA, 2018).

Atualmente a comunidade científica voltou-se para compreensão de como quantificar esses impactos e quais seriam as formas de projetar iluminação tendo o conceito da luz circadiana como base, desafiando tanto arquitetos quanto fabricantes dos equipamentos. Isso se deve pelas diferenças na construção das métricas, onde a Função de Eficiência Fotópica Luminosa [$V(\lambda)$] é a base de cálculo para quantificar a iluminância em Lux (lx), focada unicamente no sistema visual. Contudo, as métricas circadianas baseiam-se muito no espectro da luz recebida pelos usuários, possuem funções de sensibilidade espectral específicas focadas no sistema não visual, se tornando mais um requisito de qualidade na iluminação (REA, 2013).

Duas métricas em desenvolvimento destacam-se atualmente: Lux Melanópico Equivalente (EML) (INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE, 2019; LUCAS et al., 2014) e o Estímulo Circadiano (CS /Luz Circadiana (CL_A) (REA; FIGUEIRO, 2018). Nenhuma instituição renomada de iluminação nem nacional nem internacional chegou a um consenso sobre qual delas deve ser utilizada para projetar, portanto ambas são propostas de seus autores sem uma validação pela comunidade científica nem normas técnicas para sua aplicação.

Esse estudo buscou comparar os valores de iluminância para a visão (fotópica) recomendados pela ABNT ISO/CIE NBR 8995-1 (2013) com os valores mínimos das métricas circadianas recomendadas para estimular o sistema não visual.

2.1 Iluminância - o lux fotópico

O espectro eletromagnético visível ao olho humano, que se estabelece entre um comprimento de onda entre 380nm a 780nm (GUYTON; HALL, 2011) é o responsável pelo estímulo da visão (Figura 3). A função entre a eficiência luminosa e a escala de comprimento de onda é chamada de Função de Eficiência Fotópica Luminosa [$V(\lambda)$], no caso da visão diurna, e Função de Eficiência Escotópica Luminosa [$V'(\lambda)$], no caso da visão noturna (BOYCE, 2003; REA, 2013; STEFFY, 2008).

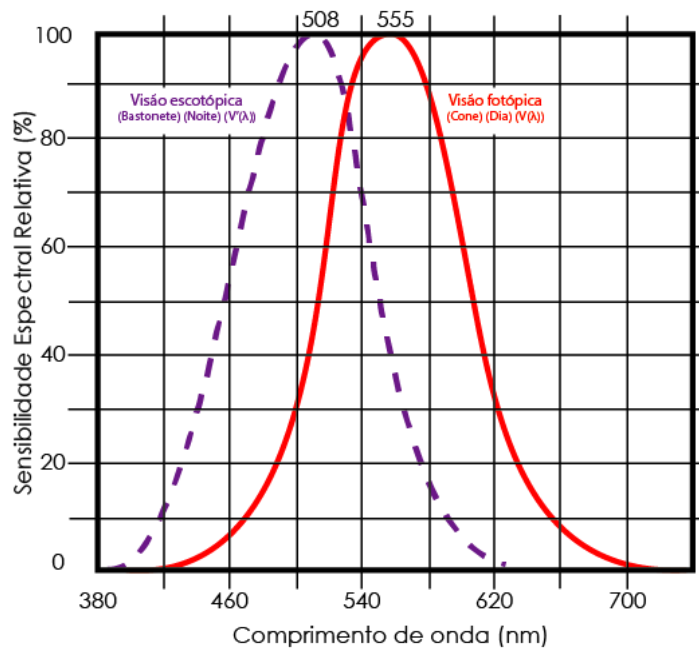


Figura 3 – Sensibilidades Relativas visão fotópica e escotópica-

Fonte: Adaptado pelas autoras de BOYCE (2003)

A função de eficiência fotópica luminosa $V(\lambda)$ foi considerada como base para o desenvolvimento de unidades que receberam o nome de fotométricas. A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) definiu, em 1924, $V(\lambda)$ como base para quantificar a luz a partir de então, derivando as unidades de medida de luz que se utilizam na indústria da iluminação e em projetos luminotécnicos até hoje, como: fluxo luminoso (lumens); intensidade luminosa (candela); luminância, (candela por m²); e iluminância (lux) (BOYCE, 2003; REA, 2013). A Norma Brasileira de Iluminação em ambientes de trabalho - ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 - indica os valores mínimos de iluminância para execução com conforto das tarefas visuais. Não faz nenhuma menção a iluminação circadiana.

2.2 O Lux Melanópico Equivalente (EML)

A aplicação mais célebre do Lux Melanópico Equivalente é a da certificação para edificações *WELL Building Certification* (INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE, 2019). Nessa certificação, a métrica (z-ópico lux) e a sensibilidade espectral do ipRGC [Função de Resposta Melanopsina - $Nz(\lambda)$] desenvolvida por Lucas et al. (2014) foram adaptadas para a aplicação em projetos arquitetônicos, ganhando uma nova abreviação "EML".

A certificação propõe uma constante de cálculo (R), que se multiplica com o Lux Fotópico (L) para obter o valor em EML. Portanto, o cálculo se desenvolve a partir da Equação (1).

$$EML=L \times R \quad (1)$$

onde, EML = Lux Melanópico Equivalente (EML);
L = Lux Fotópico (lux);
R = constante de cálculo.

No cálculo, o arquivo "*Melanopic Ratio*" é disponibilizado, como uma ferramenta de planilha de Excel, para o cálculo do EML. O projetista insere a lâmpada ou fonte de luz com suas características de espectro, denominada Distribuição Espectral de Potência Radiante (DEP) ou *Spectral Power Distribution* (SPD), em inglês, a planilha de cálculo determina a constante que deve ser multiplicada pelo valor de iluminância em lux (Lux Fotópico) determinado no ambiente, resultando no valor em EML.

A recomendação para a iluminação circadiana indica que valores mínimos de EML devem ser atingidos entre as 9h e 13h, sendo reduzidos após as 20h. Também, recomenda que a iluminância (lux), deve ser mensurada no plano vertical ao nível do olho do ocupante, simulando a entrada de luz. Em escritórios, as estações de trabalho o nível mínimo deve ser alcançado a 0,45 m acima da superfície de trabalho e em espaços sem estações a 1,40 m acima da superfície do piso.

Conforme sintetizado nas Figuras 4 e 5, também há valores mínimos para espaços com e sem iluminação natural (INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE, 2019).

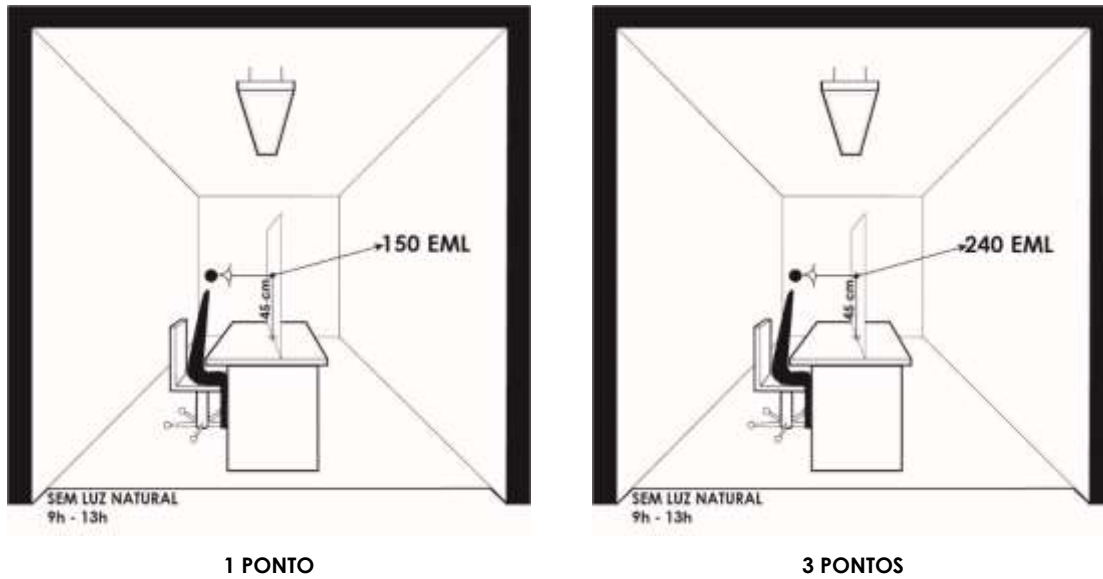


Figura 4 – Valores mínimos EML (WELL V2) sem luz natural-

Fonte: Autoras (2019)

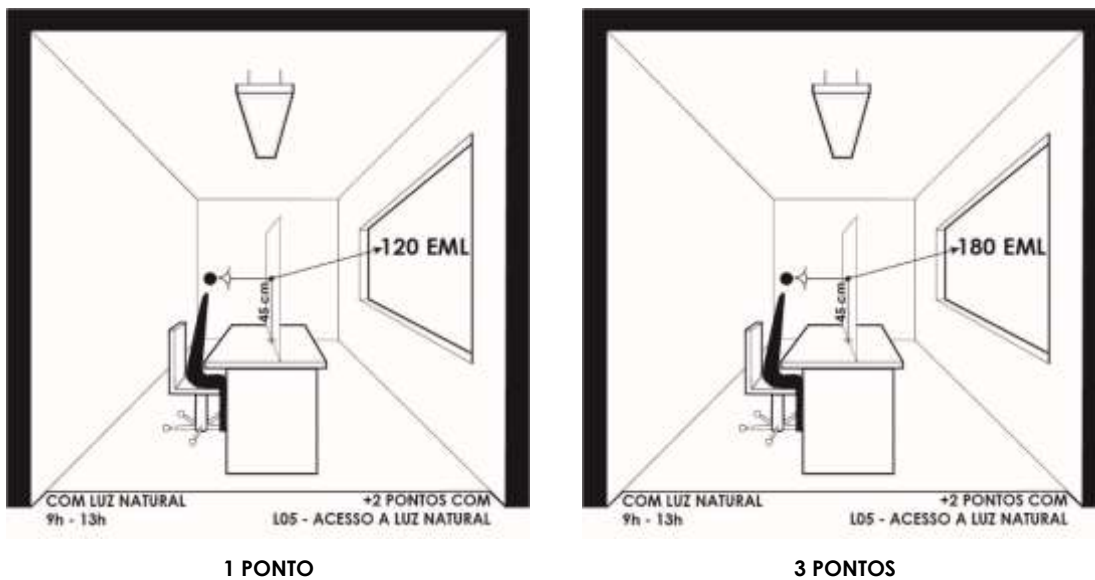


Figura 5 – Valores mínimos EML (WELL V2) com luz natural-

Fonte: Autoras (2019)

2.3 A Luz Circadiana (CL_A) e o Estímulo Circadiano (CS)

Essa métrica e suas unidades são baseadas no estímulo circadiano, com conceitos completamente diferentes da iluminância e com algumas variações em relação ao EML. Rea e Figueiro (2018) apresentam o conceito de Luz Circadiana (CL_A) e o Estímulo Circadiano (CS). As duas novas unidades, respectivamente, indicam a sensibilidade espectral (CL_A) e absoluta (CS) do sistema circadiano humano. De acordo com os modelos desenvolvidos, a irradiância espectral na córnea é primeiro convertida em CL_A, refletindo a sensibilidade espectral do sistema circadiano e então, em seguida, transformado em CS, refletindo a sensibilidade absoluta do

sistema, isso é, incluindo a interferência de outros fotorreceptores como os cones e os bastonetes no estímulo final circadiano (REA; FIGUEIRO, 2018).

CS é a eficácia calculada da irradiância espectralmente ponderada na córnea desde o limiar ($CS = 0,1$) até à saturação ($CS = 0,7$), assumindo uma duração fixa de exposição de 1 hora. Já o CL_A é a irradiância na córnea que reflete a sensibilidade espectral do sistema circadiano humano, medida pela supressão aguda da melatonina após uma exposição de 1 hora.

Para facilitar o cálculo das unidades circadianas, os autores apresentam uma ferramenta para o planejamento e o desenvolvimento do projeto circadiano: a *CS Calculator* (FIGUEIRO; REA; WARD, 2019).

A Figura 6 mostra os valores mínimos necessários em uma estação de trabalho fixa em um ambiente iluminado pela luz elétrica e natural. O nível mínimo recomendado de Estimulo Circadiano é de $CS \geq 0,3$ durante o período das 6h às 14h, enquanto entre 14h e 5h59min o $CS < 0,3$. O CS não orienta uma altura fixa para se mensurar a iluminância (lux), mesmo recomendando que isso seja realizado no plano vertical ao nível do olho do ocupante. Utilizam o *Daysimeter* (uma espécie de luxímetro) colocado na altura do olho do usuário, variando sua altura de acordo com cada indivíduo.

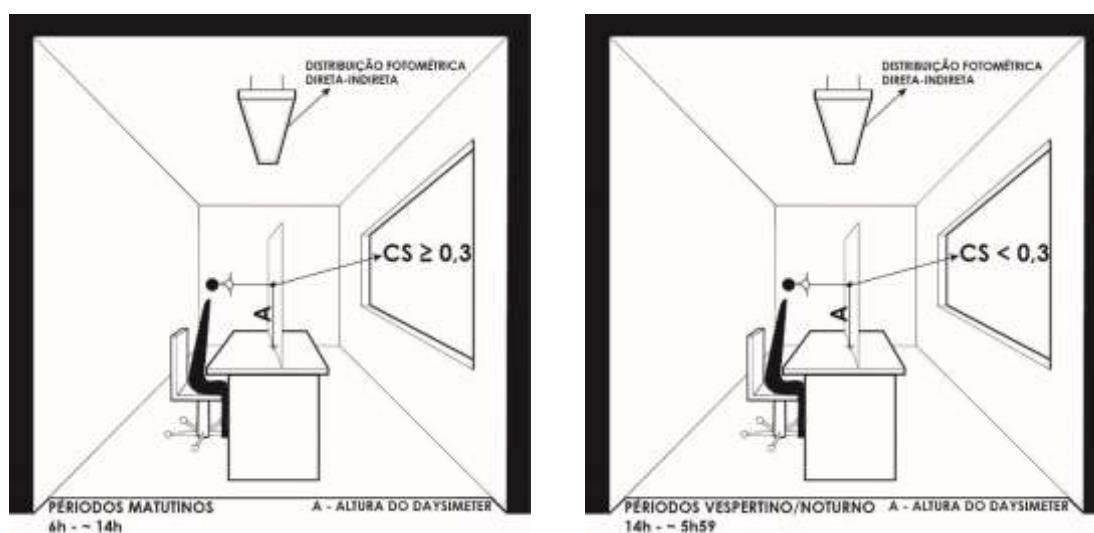


Figura 6 – Valores mínimos CS-

Fonte: Autoras (2019)

2.4 Funções de sensibilidade espectral circadianas

Um aspecto em que as duas métricas circadianas diferem em sua metodologia de cálculo diz respeito a curva de sensibilidade espectral circadiana adotada por cada uma (Figura 7). Enquanto o EML considera o pico máximo (λ_{max}) da sua sensibilidade na distribuição espectral de potência radiante [$N_z(\lambda)$] aos 480nm, a CL_A (consequentemente o CS) considera o λ_{max} da sua sensibilidade aos 460nm não sendo possível estabelecer uma relação direta entre valores de EML e CS/ CL_A . Além disso, podemos dizer que o CS/ CL_A cria uma nova unidade, enquanto o EML tenta equivaler a sua unidade a unidade fotópica, o lux ou seja, ao conceito de iluminância para visão.

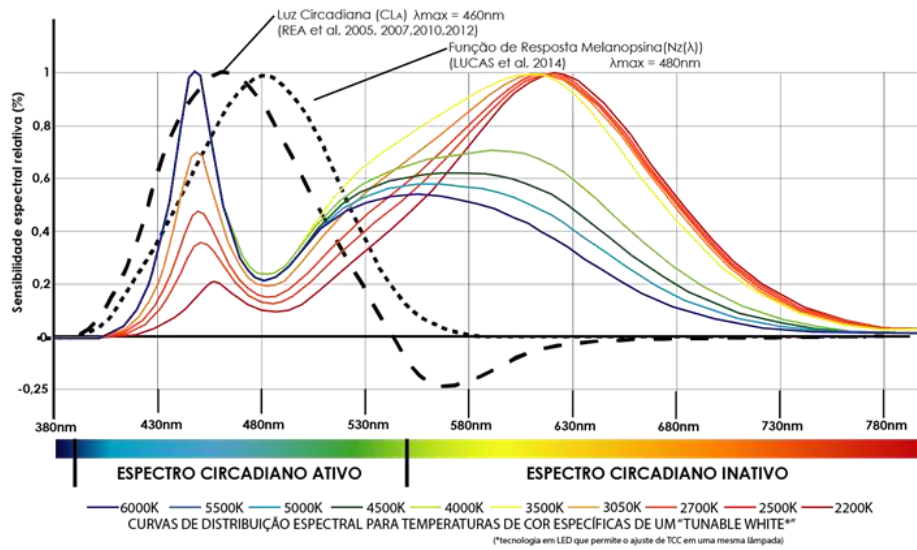


Figura 7 – Funções de sensibilidade espectral circadianas-

Fonte: Adaptado pelas autoras de CLARK; LESNIAK (2017)

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estudo de caso 1: projetos luminotécnicos para iluminação fotópica segundo a iluminância da ABNT NBR 8995-1

Com as fontes fluorescentes (4000K), para atingir o mínimo de 500 lux ao nível da mesa de altura 0,75m, foram necessárias três luminárias fluorescentes, com potência total de 336 W (10,41 W/m²), localizadas acima e centralizadas com a superfície de trabalho. A iluminância mantida média na superfície de trabalho foi de 565 lux, enquanto a iluminância vertical média ao nível do observador (1,20m do piso e 0,45 m acima da superfície de trabalho) foi de 190 lux (Fig.4).

Com as fontes LED (4000K), para atingir o mínimo de 500 lux ao nível da mesa de altura 0,75m, foram necessárias quatro luminárias LED, com potência total de 92 W (2,85 W/m²), localizadas acima e centralizadas com a superfície de trabalho. A iluminância mantida média na superfície de trabalho foi de 528 lux, enquanto a iluminância vertical média ao nível do observador (1,20 m do chão, 0,45 m acima da superfície de trabalho) foi de 186 lux (Figura 8).

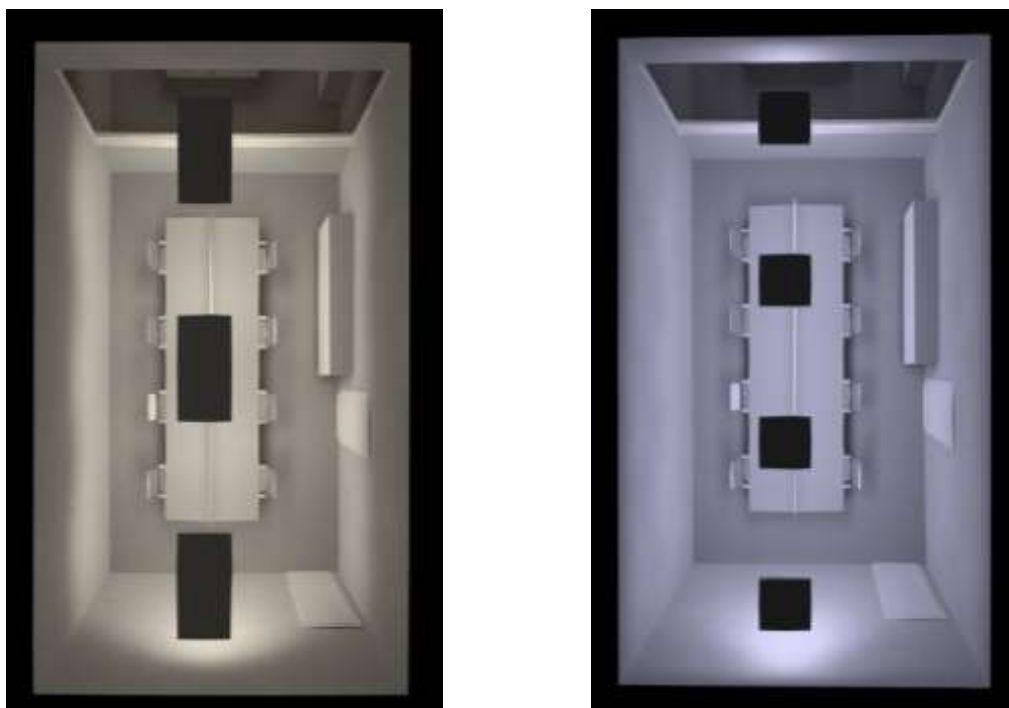


Figura 8 – Simulação DIALux iluminância fotópica: fluorescente (esquerda) e LED (direita)-

Fonte: Autoras (2019)

3.2 Estudo de caso 2: projetos luminotécnicos para iluminação circadiana com EML a partir da iluminância fotópica

Com valores de DEP da fluorescente (4000K) utilizados na ferramenta “*Melanopic Ratio*”, obtém-se uma constante de cálculo (R) de 0,588, que multiplicada pela iluminância vertical média de 190 lux temos o valor de 111,72 EML. Com valores de DEP do LED (4000K) utilizados na ferramenta “*Melanopic Ratio*”, ela nos fornece uma constante de cálculo (R) de 0,76 que multiplicada pela iluminância vertical média de 186 lux, temos o valor de 141, 36 EML.

3.3 Estudo de caso 3: projetos luminotécnicos para iluminação circadiana com CS/CL_A a partir da iluminância fotópica

Com valores de DEP fluorescente (4000K) utilizados na ferramenta na “*Web CS Calculator*”, mantendo o valor de 0,5 em “*Macular Pigment Optical Density*”, e o valor iluminância vertical média de 190 lux obtém-se um CS = 0,245 e CL_A = 203. Com valores de DEP LED (4000K) utilizados na ferramenta “*Web CS Calculator*”, mantendo o valor de 0,5 em “*Macular Pigment Optical Density*”, e o valor iluminância vertical média de 186 lux obtém-se um CS = 0,202 e CL_A = 157.

3.4 Análise comparativa entre os casos

Os projetos com a iluminância mínima recomendada pela ABNT NBR 8995-1 (2013), com ambas fontes luminosas, não atingiram o valor necessário para início da supressão da melatonina (desejável durante a manhã e o início da tarde) em nenhuma das métricas circadianas. Enquanto o mínimo recomendado pela EML é um valor de 150 EML para um ponto em ambientes sem iluminação natural, foram

obtidos 111,72 EML (fluorescente) e 141,36 EML (LED). Já o CS mínimo recomendado é de $CS \geq 0,3$, mas as simulações obtiveram $CS = 0,245$ (fluorescente) e $CS = 0,202$ (LED). Na fluorescente com 111,72 EML e $CS = 0,245$, precisaríamos de $10,41 \text{ W/m}^2$. Já na LED com 141,36 EML e $CS = 0,202$, precisaríamos de $2,85 \text{ W/m}^2$.

Os valores obtidos nos casos 2 e 3 indicam que, se desejamos uma iluminação circadiana, devemos aumentar a iluminância para visão, com consequente aumento do consumo energético, considerando que a eficiência luminosa (lumens por watt) dos LED sempre será maior. Indica que se deve pensar a iluminação não somente com a iluminância mantida e que a iluminância vertical, com a luz que chega aos olhos é a mais importante para o sistema circadiano.

A principal similaridade entre os métodos de conversão de iluminância fotópica para as unidades circadianas está na necessidade dos dados gráficos completos de DEP da fonte luminosa. Ambas as métricas oferecem ferramentas de cálculo com lâmpadas padrão, permitindo a inserção de lâmpadas específicas pelo projetista, sendo conhecidos os dados gráficos completos de DEP da fonte de luz. Há maior disponibilidade de dados de DEP de fontes de luz padrão na ferramenta método CS/ CL_A , além da possibilidade de adicionar mais de uma fonte de luz em um mesmo cálculo. Nem sempre os fabricantes fornecem essas especificações, o que torna difícil e demorado para os projetistas a obtenção dos mesmos.

Os DEP causam impacto direto na formulação das unidades circadianas, pois para a sua derivação a temperatura de cor (TCC) não é o principal agente. Verifica-se a diferença nos casos 2 e 3 de duas fontes de luz com DEP diferentes, porém com a mesma TCC de 4000K. Enquanto em EML, a fluorescente (111,72 EML) tem um valor menor que a fonte de LED (141,36 EML), no valor de CS a fonte fluorescente ($CS = 0,245$) tem um valor maior que da fonte LED ($CS = 0,202$). Por isso, quando falamos de iluminação circadiana a alteração da TCC não é o requisito que deve ser variado, mas sim o espectro (DEP) da fonte luminosa.

Quanto ao software, detectamos uma dificuldade para relacionar os valores de DEP das ferramentas de cálculo circadiano na simulação em DIALux, já que o programa não permite adicionar DEP externos. Isso significa que para que exista maior rigor na conversão da iluminância fotópica para a circadiana, por qualquer uma das métricas, é necessário um software de simulação de iluminância fotópica que permita a manipulação do espectro da lâmpada, para que a correspondência entre as especificações utilizadas esteja precisa. Portanto, não consideramos o DIALux, atualmente a ferramenta mais usual nos escritórios, adequada ao processo de projeto de iluminação circadiana.

Observa-se que a EML não considera a idade do usuário no cálculo, sendo o padrão para pessoas de todas as idades, diferentemente da CS/ CL_A que estabelece faixas etárias a serem selecionadas na ferramenta de cálculo. Isso torna o cálculo mais preciso, tendo em vista que o envelhecimento do olho também interfere na resposta circadiana individual.

A utilização do *Daysimeter* no cálculo do CS/ CL_A faz com que exista maior precisão na avaliação da iluminância vertical, porque a aferição ocorre o mais perto da córnea, possibilitando a variação do plano de medição vertical de acordo com o usuário. Porém, na prática, há de se estabelecer um padrão de altura para cálculo, uma vez que em um escritório existem pessoas reais de diferentes alturas. Além disso, a aquisição de equipamentos específicos e ainda não comercializados por parte dos escritórios também inviabiliza a aferição do impacto circadiano, pelo menos por enquanto.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de projeto luminotécnico precisa ser revisto na prática arquitetônica. As descobertas dos impactos da iluminação na saúde do homem aumentaram a responsabilidade dos profissionais. Porém, ainda não há conhecimento consolidado de como projetar a iluminação que atenda as questões fisiológicas relacionadas aos ritmos circadianos. Não há normas técnicas nem consenso na comunidade científica sobre qual a métrica que melhor pode aferir o impacto da luz nos usuários. Por isso, a importância de testar o que as pesquisas têm produzido, explorando as ferramentas atualmente oferecidas para poder transferir esse conhecimento, mesmo que incompleto, para os projetistas de iluminação. Muitos projetos são executados sem nenhuma fundamentação teórica, com o argumento que é melhor fazer alguma coisa do que nada. Porém, em se tratando de variáveis ambientais que interferem na saúde humana, todo cuidado é necessário. Esse estudo mostrou que a ferramenta mais utilizada para projeto luminotécnico talvez não sejam a mais adequada a partir dos conceitos de luz circadiana. Novos equipamentos para aferição da luz deverão ser comercializados e as disciplinas dos cursos de arquitetura deverão atualizar os seus conteúdos dos currículos de graduação. Além disso, fica claro que projetar uma iluminação circadiana sempre envolverá maiores custos relacionados com o consumo energético, seja qual for a fonte escolhida. Conhecer o espectro das lâmpadas e suas características de distribuição será fundamental para os novos projetistas. Portanto, concluímos que discutir formas de traduzir o conhecimento da pesquisa para prática profissional deve ser o foco das pesquisas, para que se possa projetar considerando a luz circadiana, entendida como fator essencial da qualidade de um ambiente.

AGRADECIMENTO

Ao CNPq pelo auxílio financeiro ao projeto mãe “A cidade que nunca dorme”.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho, Parte 1: Interior**. São Paulo, p. 54, 2013.
- BERSON, D. M.; DUNN, F. A.; TAKAO, M. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. **Science**, Washington, v. 295, n. 5557, p. 1070–1073, 2002.
- BOYCE, P. R. **Human Factors in Lighting**. 1. ed. New York: Taylor&Francis, 2003.
- CLARK, E.; LESNIAK, N. Circadian Lighting Solutions Are Real and Important — Why Aren't They Being Used? **Metropolis**, New York, dez. 2017.
- FIGUEIRO, M. G.; REA, M. S.; WARD, G. J. **Web CS Calculator**. 2019.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11. ed. São Paulo: Elsevier Inc., 2011.
- INTERNATIONAL WELL BUILDING INSTITUTE. **Circadian Lighting Design v2**. 2019.
- LUCAS, R. J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends in Neurosciences**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 1–9, 2014.
- REA, M. S. **Value Metrics for better lighting**. 1. ed. Bellingham: SPIE Press, 2013.
- REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G. Light as a circadian stimulus for architectural lighting. **Lighting Research & Technology**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 497–510, 2018.
- STEFFY, G. R. **Architectural Lighting Design**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

TOH, K. L. Basic Science Review on Circadian Rhythm Biology and Circadian Sleep Disorders. **Academy of Medicine Singapore**, [s. l.], v. 37, n. 8, p. 662–668, 2008.

TOUITOU, Y.; REINBERG, A.; TOUITOU, D. Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: Health impacts and mechanisms of circadian disruption. **Life Sciences**, [s. l.], v. 173, p. 94–106, 2017.

ZIELINSKA-DABKOWSKA, K. M. Make lighting healthier. **Nature**, New York, v. 553, n. 7688, p. 274–276, 2018.

APENDICE B – FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU ENCOBERTO NA ORIENTAÇÃO NORTE, SUL, LESTE E OESTE

Os resultados para céu encoberto independem da orientação solar, visto que suas luminâncias são azimutalmente simétricas. Por isso, são apresentados somente de acordo com a época do ano (solstício ou equinócio) e os horários do dia determinados para a análise. Além disso, não é possível identificar qual seria a orientação solar mais adequada para preencher aos requisitos de iluminação integrativa com o maior aproveitamento da iluminação natural sem a complementação de iluminação elétrica.

ANÁLISE QUANTITATIVA DO ATENDIMENTO À REQUISITOS VISUAIS E NÃO-VISUAIS

➤ EML ao longo do ano

Na Tabela 12 e no diagrama visual (Tabela 13) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (E_v) e iluminância mantida (E_m). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (EML) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 102, Figura 103 e Figura 104), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, todos (100%) os postos de trabalho estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h e 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) enquanto os demais postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, o posto de trabalho 1 (10%) está classificado como verde (atende circadiana / atende visual), o posto 6 (10%) está classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h e às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) são classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) são classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

Tabela 12 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu encoberto (norte, sul, leste e oeste) classificados de acordo com os parâmetros do EML

		EML													
		NORTE, SUL, LESTE E OESTE													
		≥ 136 lux e ≥ 500 lux						0 - 135 lux e ≥ 500 lux							
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	115	109	399	377	533	504	480	454	254	241	0	0
		7	2	46	42	159	145	212	194	191	175	101	93	0	0
		8	3	22	19	76	68	102	90	92	81	49	43	0	0
		9	4	12	11	42	38	55	50	50	45	26	24	0	0
		10	5	8	7	28	25	38	33	34	30	18	16	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	166	170	579	590	773	788	696	709	369	376	0	0
		7	2	55	56	192	195	256	260	231	234	122	124	0	0
		8	3	24	25	85	85	113	114	102	103	54	54	0	0
		9	4	13	13	46	46	61	61	55	55	29	29	0	0
		10	5	9	9	30	30	39	40	34	36	19	19	0	0
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	342	323	642	607	773	731	700	662	442	418	69	65
		7	2	136	125	256	234	308	282	279	255	176	161	27	25
		8	3	65	58	123	109	148	131	134	118	85	75	13	12
		9	4	36	32	67	61	80	73	73	66	46	42	7	7
		10	5	24	21	45	40	55	48	49	44	31	28	5	4
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	496	506	931	949	1121	1143	1015	1035	641	654	100	102
		7	2	165	167	309	313	372	377	337	341	213	216	33	34
		8	3	73	73	136	137	164	165	148	150	94	95	15	15
		9	4	39	39	73	74	88	89	80	80	50	51	8	8
		10	5	25	26	48	48	57	58	52	52	33	33	5	5
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	476	450	757	716	886	838	828	783	599	566	260	246
		7	2	190	173	302	276	353	323	330	302	239	218	103	95
		8	3	91	81	145	128	169	150	158	140	115	101	50	44
		9	4	49	45	79	71	92	84	86	78	62	57	27	25
		10	5	34	30	53	47	62	55	58	52	42	37	18	16
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	690	704	1098	1120	1285	1310	1201	1225	869	886	377	384
		7	2	229	232	364	370	427	432	399	404	288	292	125	127
		8	3	101	102	161	162	188	190	176	177	127	128	55	56
		9	4	54	55	86	87	101	102	95	95	68	69	30	30
		10	5	35	36	56	57	66	66	61	62	44	45	19	19

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 13 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu encoberto para Norte, Sul, Leste e Oeste em EML

EML						
NORTE, SUL, LESTE E OESTE						
	Ev \geq 136 lux e Eh \geq 500 lux			Ev = 0 - 135 lux e Eh \geq 500 lux		
	08h	10h	12h	14h	16h	18h
Solstício de inverno						
Equinócio						
Solstício de verão						
<p> atende circadiana / atende visual</p> <p> atende circadiana / não atende visual</p> <p> não atende circadiana / atende visual</p> <p> não atende circadiana / não atende visual</p>						

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 14 – EML: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de inverno na orientação norte, sul, leste e oeste

	Solstício de inverno					
	NORTE, SUL, LESTE E OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	0%	20%	20%	60%	80%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	20%	20%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	100%	60%	60%	20%	0%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 102– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de inverno na orientação norte, sul, leste e oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

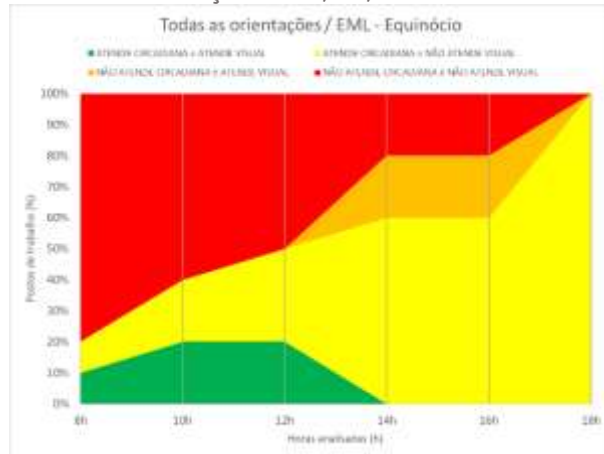
Tabela 15 – EML: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no equinócio na orientação norte, sul, leste e oeste

	Equinócio					
	NORTE, SUL, LESTE E OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	10%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	10%	20%	30%	60%	60%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	20%	20%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	80%	60%	50%	20%	20%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 103 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu encoberto no equinócio na orientação norte, sul, leste e oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

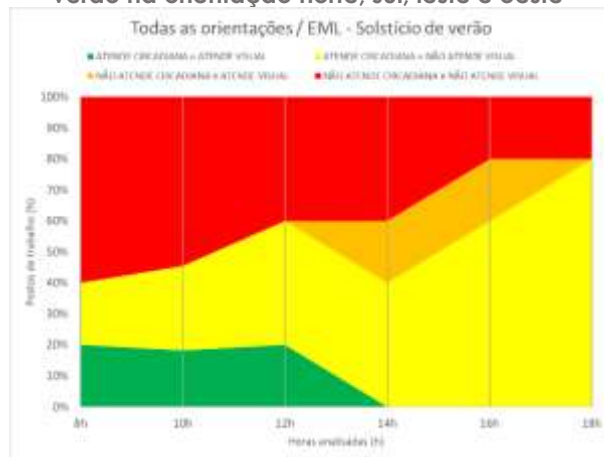
Tabela 16 – EML: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de verão na orientação norte, sul, leste e oeste

	Solstício de verão					
	NORTE, SUL, LESTE E OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	20%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	20%	30%	40%	40%	60%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	20%	20%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	60%	60%	40%	40%	20%	20%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 104 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de verão na orientação norte, sul, leste e oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ CS ao longo do ano

Na Tabela 17 e no diagrama visual (Tabela 18) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (Ev) e iluminância mantida (Em). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (CS) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais* (%) (Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 105, Figura 106 e Figura 107), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, todos (100%) os postos de trabalho estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 7 e 2 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), o posto 7 (10%) está classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (70%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) enquanto os demais postos (80%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, o posto de trabalho 1 (10%) está classificado como verde (atende circadiana / atende visual), o posto 6 (10%) está classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, 12h e 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) são classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (80%) são classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), o posto 7 (10%) está classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (70%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, 12h, 14h e 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) são classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) são classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

Tabela 17 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu encoberto (norte, sul, leste e oeste) classificados de acordo com os parâmetros do CS

		CS													
		NORTE, SUL, LESTE E OESTE													
		≥ 180 lux e ≥ 500 lux										0 - 179 lux e ≥ 500 lux			
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	115	109	399	377	533	504	480	454	254	241	0	0
		7	2	46	42	159	145	212	194	191	175	101	93	0	0
		8	3	22	19	76	68	102	90	92	81	49	43	0	0
		9	4	12	11	42	38	55	50	50	45	26	24	0	0
		10	5	8	7	28	25	38	33	34	30	18	16	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	166	170	579	590	773	788	696	709	369	376	0	0
		7	2	55	56	192	195	256	260	231	234	122	124	0	0
		8	3	24	25	85	85	113	114	102	103	54	54	0	0
		9	4	13	13	46	46	61	61	55	55	29	29	0	0
		10	5	9	9	30	30	39	40	34	36	19	19	0	0
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	342	323	642	607	773	731	700	662	442	418	69	65
		7	2	136	125	256	234	308	282	279	255	176	161	27	25
		8	3	65	58	123	109	148	131	134	118	85	75	13	12
		9	4	36	32	67	61	80	73	73	66	46	42	7	7
		10	5	24	21	45	40	55	48	49	44	31	28	5	4
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	496	506	931	949	1121	1143	1015	1035	641	654	100	102
		7	2	165	167	309	313	372	377	337	341	213	216	33	34
		8	3	73	73	136	137	164	165	148	150	94	95	15	15
		9	4	39	39	73	74	88	89	80	80	50	51	8	8
		10	5	25	26	48	48	57	58	52	52	33	33	5	5
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	476	450	757	716	886	838	828	783	599	566	260	246
		7	2	190	173	302	276	353	323	330	302	239	218	103	95
		8	3	91	81	145	128	169	150	158	140	115	101	50	44
		9	4	49	45	79	71	92	84	86	78	62	57	27	25
		10	5	34	30	53	47	62	55	58	52	42	37	18	16
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	690	704	1098	1120	1285	1310	1201	1225	869	886	377	384
		7	2	229	232	364	370	427	432	399	404	288	292	125	127
		8	3	101	102	161	162	188	190	176	177	127	128	55	56
		9	4	54	55	86	87	101	102	95	95	68	69	30	30
		10	5	35	36	56	57	66	66	61	62	44	45	19	19

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 18 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu encoberto para NORTE, SUL, LESTE E OESTE em CS

CS								
NORTE, SUL, LESTE E OESTE								
	Ev ≥ 180 lux e Eh ≥ 500 lux					Ev= 0 - 179 lux Eh ≥ 500 lux		
	08h	10h	12h	14h	16h	18h		
Solsício de inverno								
	Equinócio							
		Solsício de verão						
			<p> ■ atende circadiana / atende visual ■ atende circadiana / não atende visual ■ não atende circadiana / atende visual ■ não atende circadiana / não atende visual </p>					

Fonte: AUTORA, 2020.

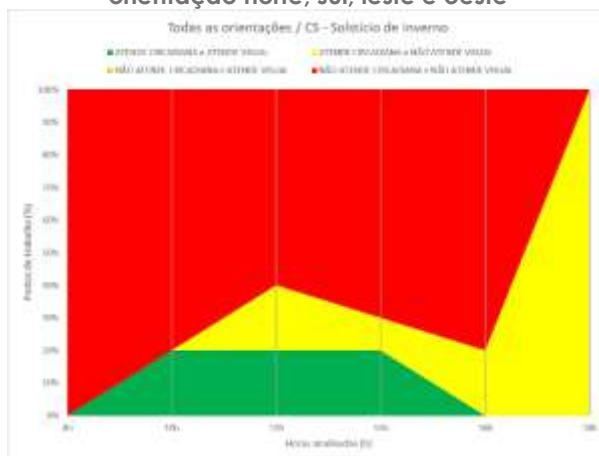
Tabela 19 – CS: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de inverno na orientação norte, sul, leste e oeste

	Solstício de inverno					
	NORTE, SUL, LESTE E OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	20%	20%	20%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	0%	0%	20%	10%	20%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	100%	80%	60%	70%	80%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 105– CS: Gráfico de resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de inverno na orientação norte, sul, leste e oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

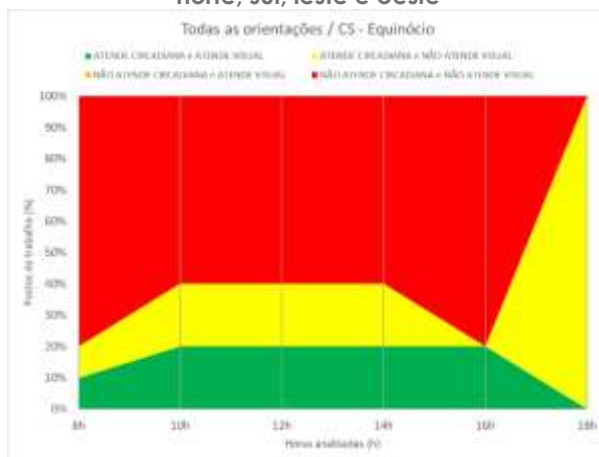
Tabela 20 – CS: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no equinócio na orientação norte, sul, leste e oeste

	Equinócio					
	NORTE, SUL, LESTE E OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	10%	20%	20%	20%	20%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	10%	20%	20%	20%	0%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	80%	60%	60%	60%	80%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 106 – CS: Gráfico de resultados percentuais (%) em céu encoberto no equinócio na orientação norte, sul, leste e oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

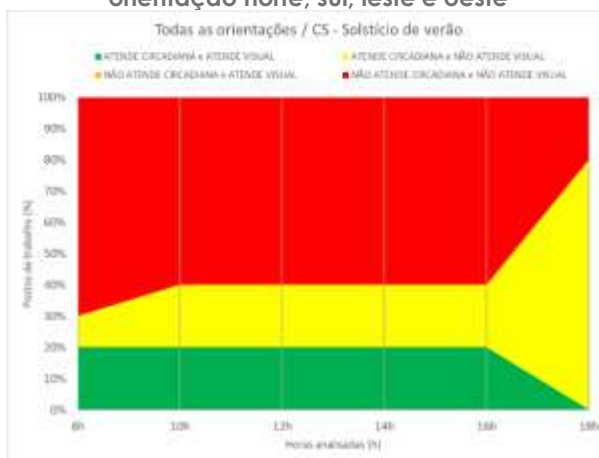
Tabela 21 – CS: Resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de verão na orientação norte, sul, leste e oeste

	Solstício de verão					
	NORTE, SUL, LESTE E OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	20%	20%	20%	20%	20%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	10%	20%	20%	20%	20%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	70%	60%	60%	60%	60%	20%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 107 – CS: Gráfico de resultados percentuais (%) em céu encoberto no solstício de verão na orientação norte, sul, leste e oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *Relações entre EML e CS*

Às 14h e 16h, os critérios determinados para os cronogramas são diferentes. Enquanto para o EML não é recomendada a Ev ser circadianamente ativa, esses horários se mantêm circadianamente ativos para a CS. Portanto, a comparação entre as métricas circadianas nesses horários não é possível, mantendo-se somente os mesmos parâmetros de conforto visual.

No solstício de inverno:

- Às 10h, enquanto para o EML os postos de trabalho 2 e 7 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 12h, enquanto para o EML o posto de trabalho 8 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, enquanto para o EML o posto de trabalho 2 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, enquanto para o EML o posto de trabalho 8 está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h, enquanto para o EML os postos de trabalho 3 e 8 estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

APÊNDICE C – FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU CLARO NA ORIENTAÇÃO LESTE

ANÁLISE QUANTITATIVA DO ATENDIMENTO À REQUISITOS VISUAIS E NÃO-VISUAIS

➤ EML ao longo do ano

Na Tabela 22 e no diagrama visual (Tabela 23) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (E_v) e iluminância mantida (E_m). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (EML) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 24, Tabela 25 e Tabela 26) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 108, Figura 109 e Figura 110), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, os postos 1, 2 e 6 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 4, 7, 8, 9 e 10 (60%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e o posto 5 (10%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, os postos 1, 2 e 6 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 7, 8 e 9 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (30%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h, os postos 1, 2 e 6 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 7, 8 e 9 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), e os demais postos (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 8 e 9 (30%) estão classificados como amarelo

(atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (30%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

Tabela 22 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em leste e classificados de acordo com os parâmetros do EML

		EML													
		LESTE													
		Ev ≥ 136 lux e Eh ≥ 500 lux						Ev = 0 - 135 lux e Eh ≥ 500 lux							
		B	A	8h	10h	12h	14h	16h	18h						
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	714	2939	2491	2880	1084	1350	853	811	598	487	0	0
		7	2	513	2260	1248	961	502	493	394	338	279	226	0	0
		8	3	351	283	562	453	280	234	203	171	145	119	0	0
		9	4	220	159	289	254	159	133	115	101	83	83	0	0
		10	5	139	104	192	165	102	91	82	71	60	51	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	871	1092	2416	8834	1103	1253	759	792	507	506	0	0
		7	2	439	770	949	1090	482	523	349	353	245	240	0	0
		8	3	259	315	503	540	249	259	183	182	130	127	0	0
		9	4	164	189	287	300	145	150	110	109	79	78	0	0
		10	5	113	124	189	196	101	103	79	79	57	57	0	0
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	3729	11617	2296	2536	1023	1219	885	829	809	706	198	184
		7	2	2970	2892	1102	1004	489	474	416	362	390	333	98	87
		8	3	1130	1009	542	477	253	227	217	185	207	175	53	46
		9	4	566	527	286	270	143	130	125	110	121	106	31	28
		10	5	388	342	207	180	102	89	90	78	88	76	23	20
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	15845	16070	5406	5698	1164	1260	819	844	711	716	184	187
		7	2	13869	14035	1088	1200	488	516	375	379	348	347	91	92
		8	3	1113	1190	551	587	247	254	198	197	187	185	49	49
		9	4	641	680	314	328	144	147	119	119	115	114	30	30
		10	5	413	436	209	217	100	102	86	86	84	84	22	22
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	13214	5173	1892	1862	1058	1097	847	798	840	803	540	559
		7	2	1933	1775	911	857	492	481	395	354	408	371	269	256
		8	3	943	833	471	417	253	223	208	181	219	192	146	132
		9	4	521	463	266	238	143	129	121	107	129	115	87	79
		10	5	347	308	184	162	101	89	87	76	94	82	64	56
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	30101	29990	2489	2546	1227	1265	822	838	774	786	515	530
		7	2	2100	2065	1038	1064	510	522	368	372	373	378	252	259
		8	3	1084	1071	511	519	253	257	193	193	201	201	136	138
		9	4	597	590	288	291	146	148	116	116	123	123	83	85
		10	5	380	379	192	195	101	102	83	84	90	91	61	62

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 23 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para LESTE em EML

EML						
LESTE						
	Ev ≥ 136 lux e Eh ≥ 500 lux			Ev = 0 - 135 lux e Eh ≥ 500 lux		
	08h	10h	12h	14h	16h	18h
Solstício de inverno						
Equinócio						
Solstício de verão						
<p> atende circadiana / atende visual</p> <p> atende circadiana / não atende visual</p> <p> não atende circadiana / atende visual</p> <p> não atende circadiana / não atende visual</p>						

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 24 – EML: Resultados percentuais (%) em céu claro no solstício de inverno na orientação leste

		Solstício de inverno					
		LESTE					
		8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		30%	60%	30%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		60%	40%	40%	40%	50%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		0%	0%	0%	20%	20%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		10%	0%	30%	40%	30%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 25 – EML: Resultados percentuais (%) em céu claro no equinócio na orientação leste

		Equinócio					
		LESTE					
		8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		80%	60%	30%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		20%	40%	40%	40%	40%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		0%	0%	0%	20%	20%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		0%	0%	30%	40%	40%	20%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

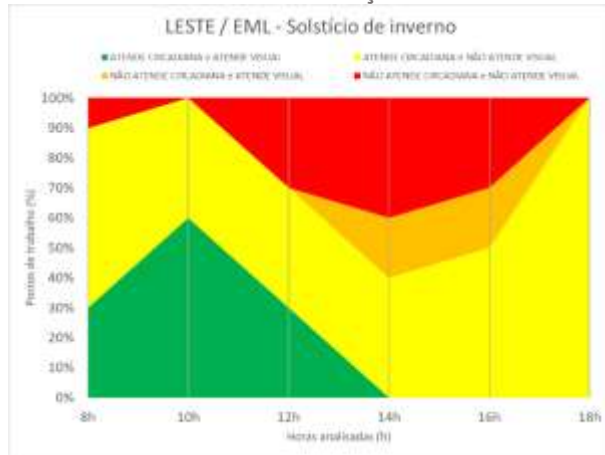
Tabela 26 – EML: Resultados percentuais (%) em céu claro no solstício de verão na orientação leste

		Solstício de verão					
		LESTE					
		8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		80%	60%	40%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		20%	40%	30%	40%	40%	50%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		0%	0%	0%	20%	20%	20%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		0%	0%	30%	40%	40%	30%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

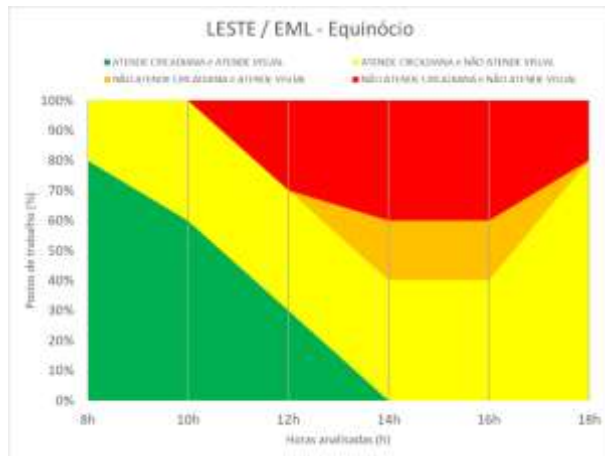
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 108– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu claro no solstício de inverno na orientação leste



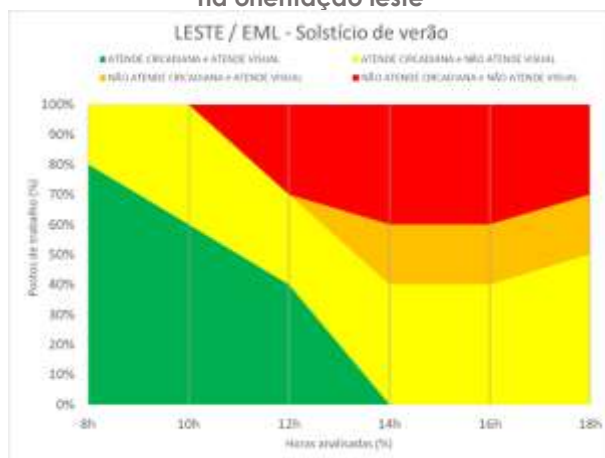
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 109 –EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu claro no equinócio na orientação leste



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 110 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) em céu claro no solstício de verão na orientação leste



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ CS ao longo do ano

Na Tabela 27 e no diagrama visual (Tabela 28) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (Ev) e iluminância mantida (Em). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (CS) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 29, Tabela 30 e Tabela 31) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 111, Figura 112 e Figura 113), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, os postos 1, 2 e 6 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 7, 8 e 9 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 4, 9 e 10 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (10%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, os postos 1, 2 e 6 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 7, e 8 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e o os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (30%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 4, 9 e 10 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (10%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h, os postos 1, 2 e 6 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 7 e 8 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e o os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), e os demais postos (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 4, 9 e 10 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (10%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3 e 8 (20%) estão classificados como amarelo

(atende circadiana / não atende visual) e o os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h e 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

Tabela 27 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em leste e classificados de acordo com os parâmetros do CS

		CS													
		LESTE													
		Ev ≥ 180 lux e Eh ≥ 500 lux										Ev = 0 - 179 lux e Eh ≥ 500 lux			
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	714	2939	2491	2880	1084	1350	853	811	598	487	0	0
		7	2	513	2260	1248	961	502	493	394	338	279	226	0	0
		8	3	351	283	562	453	280	234	203	171	145	119	0	0
		9	4	220	159	289	254	159	133	115	101	83	83	0	0
		10	5	139	104	192	165	102	91	82	71	60	51	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	871	1092	2416	8834	1103	1253	759	792	507	506	0	0
		7	2	439	770	949	1090	482	523	349	353	245	240	0	0
		8	3	259	315	503	540	249	259	183	182	130	127	0	0
		9	4	164	189	287	300	145	150	110	109	79	78	0	0
		10	5	113	124	189	196	101	103	79	79	57	57	0	0
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	3729	11617	2296	2536	1023	1219	885	829	809	706	198	184
		7	2	2970	2892	1102	1004	489	474	416	362	390	333	98	87
		8	3	1130	1009	542	477	253	227	217	185	207	175	53	46
		9	4	566	527	286	270	143	130	125	110	121	106	31	28
		10	5	388	342	207	180	102	89	90	78	88	76	23	20
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	15845	16070	5406	5698	1164	1260	819	844	711	716	184	187
		7	2	13869	14035	1088	1200	488	516	375	379	348	347	91	92
		8	3	1113	1190	551	587	247	254	198	197	187	185	49	49
		9	4	641	680	314	328	144	147	119	119	115	114	30	30
		10	5	413	436	209	217	100	102	86	86	84	84	22	22
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	13214	5173	1892	1862	1058	1097	847	798	840	803	540	559
		7	2	1933	1775	911	857	492	481	395	354	408	371	269	256
		8	3	943	833	471	417	253	223	208	181	219	192	146	132
		9	4	521	463	266	238	143	129	121	107	129	115	87	79
		10	5	347	308	184	162	101	89	87	76	94	82	64	56
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	30101	29990	2489	2546	1227	1265	822	838	774	786	515	530
		7	2	2100	2065	1038	1064	510	522	368	372	373	378	252	259
		8	3	1084	1071	511	519	253	257	193	193	201	201	136	138
		9	4	597	590	288	291	146	148	116	116	123	123	83	85
		10	5	380	379	192	195	101	102	83	84	90	91	61	62

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 28 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para LESTE em CS

CS						
LESTE						
	$E_v \geq 180 \text{ lux}$ e $E_h \geq 500 \text{ lux}$					$E_v = 0 - 179 \text{ lux}$ $E_h \geq 500 \text{ lux}$
	08h	10h	12h	14h	16h	18h
Solstício de inverno						
Equinócio						
Solstício de verão						
<p> ■ atende circadiana / atende visual ■ atende circadiana / não atende visual ■ não atende circadiana / atende visual ■ não atende circadiana / não atende visual </p>						

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 29 – CS: Resultados percentuais (%) do céu claro em solstício de inverno na orientação leste

	Solstício de inverno					
	LESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA E ATENDE VISUAL	30%	60%	30%	20%	20%	0%
ATENDE CIRCADIANA E NÃO ATENDE VISUAL	40%	30%	30%	30%	20%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA E ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA E NÃO ATENDE VISUAL	30%	10%	40%	60%	60%	0%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 30 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação leste

	Equinócio					
	LESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA E ATENDE VISUAL	80%	60%	30%	20%	20%	0%
ATENDE CIRCADIANA E NÃO ATENDE VISUAL	20%	30%	30%	40%	30%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA E ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA E NÃO ATENDE VISUAL	0%	10%	40%	40%	50%	20%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

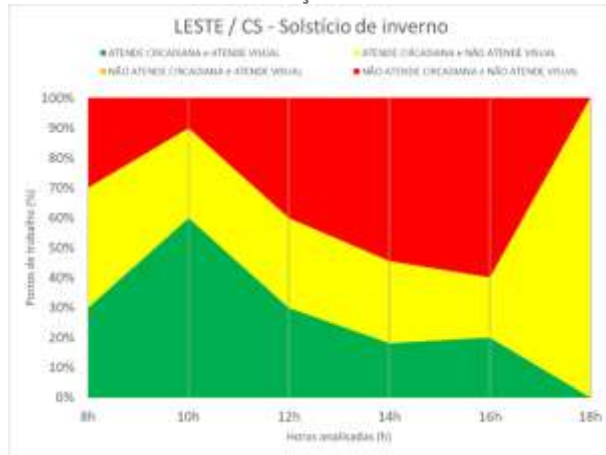
Tabela 31 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação leste

	Solstício de verão					
	LESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA E ATENDE VISUAL	80%	60%	40%	20%	20%	0%
ATENDE CIRCADIANA E NÃO ATENDE VISUAL	20%	30%	20%	40%	40%	60%
NÃO ATENDE CIRCADIANA E ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	20%
NÃO ATENDE CIRCADIANA E NÃO ATENDE VISUAL	0%	10%	40%	40%	40%	20%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

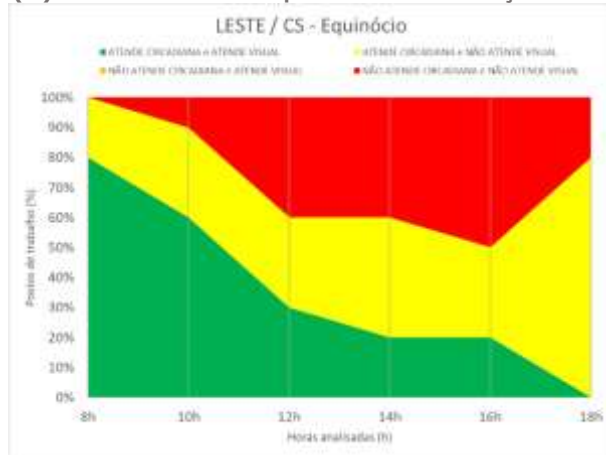
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 111– CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro no solstício de inverno na orientação leste



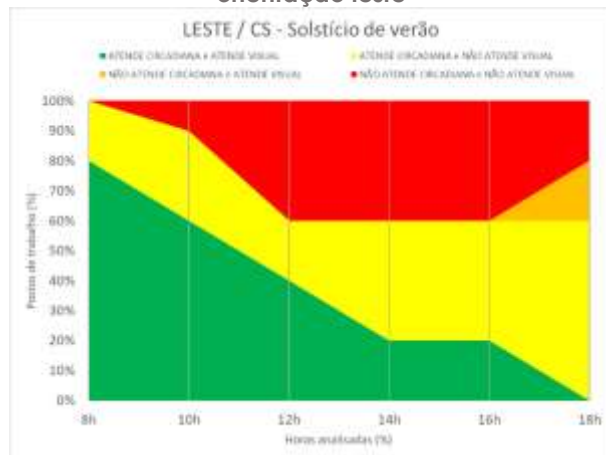
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 112 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação leste



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 113 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação leste



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *Relações entre EML e CS*

Às 14h e 16h, os critérios determinados para os cronogramas são diferentes. Enquanto para o EML não é recomendada a Ev ser circadianamente ativa, esses horários se mantêm circadianamente ativos para a CS. Portanto, a comparação entre as métricas circadianas nesses horários não é possível, mantendo-se somente os mesmos parâmetros de conforto visual.

No solstício de inverno:

- Às 8h, enquanto para o EML os postos de trabalho 4 e 10 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual)
- Às 10h, enquanto para o EML o posto de trabalho 5 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, enquanto para o EML o posto de trabalho 9 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 10h, enquanto para o EML o posto de trabalho 5 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).
- Às 12h, enquanto para o EML o posto de trabalho 9 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 10h, enquanto para o EML o posto de trabalho 5 está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, enquanto para o EML o posto de trabalho 9 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).
- Às 18h, enquanto para o EML o posto de trabalho 8 (10%) está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual).

APÊNDICE D – FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU CLARO NA ORIENTAÇÃO NORTE

ANÁLISE QUANTITATIVA DO ATENDIMENTO À REQUISITOS VISUAIS E NÃO-VISUAIS

➤ EML ao longo do ano

Na Tabela 32 no diagrama visual (Tabela 33) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (Ev) e iluminância mantida (Em). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (EML) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 24, Tabela 25 e Tabela 26) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 108, Figura 109 e Figura 110), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7 e 8 (70%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em laranja (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, os postos 1, 6 e 7 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) os postos 2, 3, 8 e 9 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 3, 4, 8 e 9 (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7, 8 e 9 (50%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7, 8 e 9 (50%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

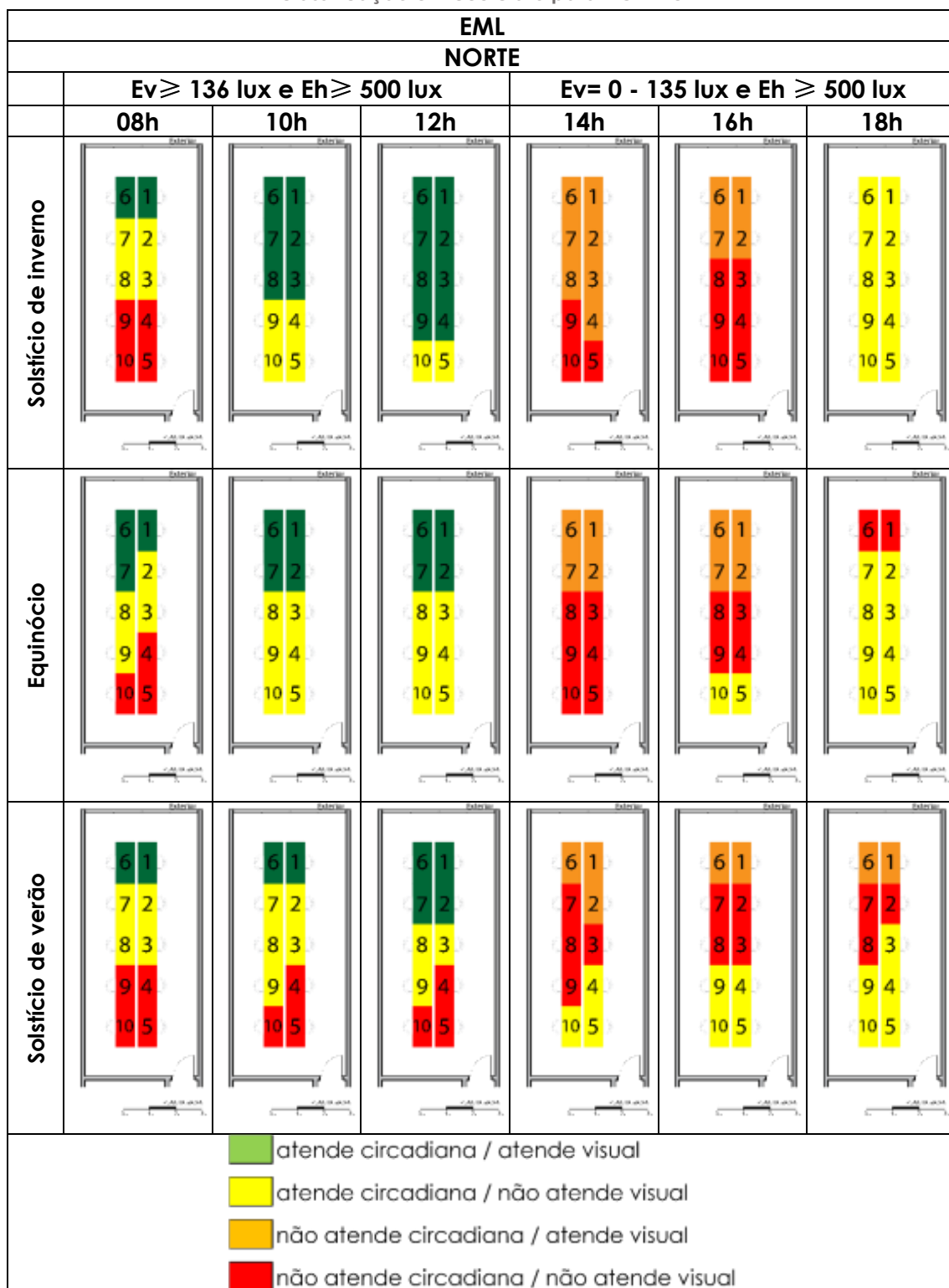
- Às 14h, os postos 1, 2 e 6 (30%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 3, 7, 8 e 9 (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (30%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);

Tabela 32 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em norte e classificados de acordo com os parâmetros do EML

		EML													
		NORTE													
		Ev ≥ 136 lux e Eh ≥ 500 lux						Ev = 0 - 135 lux e Eh ≥ 500 lux							
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	1090	607	26621	4394	5247	4998	4858	5308	2001	18553	0	0
		7	2	362	322	1691	1671	1644	1532	1673	1608	1134	816	0	0
		8	3	160	146	758	696	841	729	822	738	566	385	0	0
		9	4	86	81	405	360	474	413	444	408	279	215	0	0
		10	5	56	51	261	234	317	178	289	263	168	139	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	834	584	20684	17337	25941	25887	24890	25265	1954	4830	0	0
		7	2	324	272	2728	1733	1907	1898	1666	1842	773	919	0	0
		8	3	151	137	801	746	965	962	857	923	419	457	0	0
		9	4	83	78	432	412	530	528	476	503	241	252	0	0
		10	5	55	53	273	266	341	342	308	324	157	163	0	0
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	1534	1302	2260	1907	1899	1679	1885	2037	1561	1724	209	259
		7	2	565	547	913	831	874	795	848	820	671	620	98	94
		8	3	268	259	444	407	452	452	475	395	382	295	51	45
		9	4	148	136	246	219	256	225	252	224	191	168	29	26
		10	5	99	92	164	148	174	153	167	150	122	111	20	17
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	1278	1109	2333	2122	2402	2410	2159	2389	1358	1607	191	211
		7	2	535	495	956	888	997	1002	906	990	619	687	87	93
		8	3	261	251	458	438	486	487	454	480	322	340	45	47
		9	4	148	144	256	248	272	273	259	269	187	193	27	28
		10	5	99	99	170	167	181	183	174	180	126	130	19	19
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	1044	826	1212	922	1188	1080	1028	1119	931	1070	596	580
		7	2	420	370	497	420	513	461	474	454	438	412	273	236
		8	3	209	183	248	210	264	229	250	221	230	200	141	117
		9	4	119	105	141	122	150	132	143	128	131	115	80	69
		10	5	83	73	98	85	104	91	100	88	91	80	55	48
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	889	846	1150	1099	1302	1309	1167	1240	933	1018	521	545
		7	2	382	371	471	454	541	543	485	508	405	428	239	243
		8	3	193	190	234	228	266	267	244	250	210	215	125	125
		9	4	114	113	137	135	153	153	142	144	125	126	75	74
		10	5	80	80	96	96	105	106	99	101	88	90	37	53

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 33 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para NORTE em EML



Fonte: AUTORA, 2020.

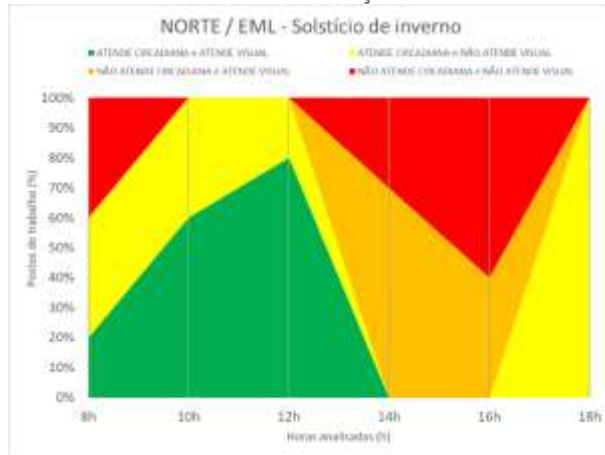
Tabela 34 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação norte

		Solstício de inverno					
		NORTE					
		8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		20%	60%	80%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		40%	40%	20%	0%	0%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		0%	0%	0%	70%	40%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		40%	0%	0%	30%	60%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 114– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação norte



Fonte: AUTORA, 2020.

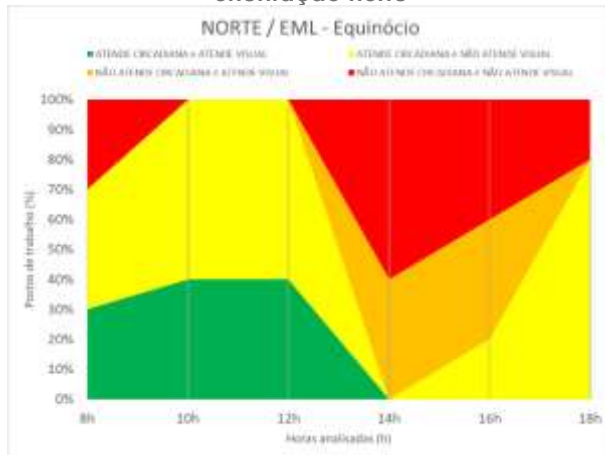
Tabela 35 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação norte

		Equinócio					
		NORTE					
		8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		30%	40%	40%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		40%	60%	60%	0%	20%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		0%	0%	0%	40%	40%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		30%	0%	0%	60%	40%	20%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 115 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação norte



Fonte: AUTORA, 2020.

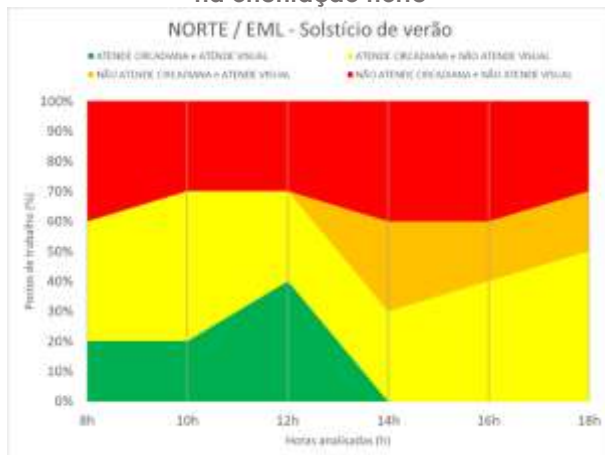
Tabela 36 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação norte

		Solstício de verão					
		NORTE					
		8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		20%	20%	40%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		40%	50%	30%	30%	40%	50%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL		0%	0%	0%	30%	20%	20%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL		40%	30%	30%	40%	40%	30%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 116 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação norte



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *CS ao longo do ano*

Na Tabela 37 e no diagrama visual (Tabela 38) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (Ev) e iluminância mantida (Em). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (CS) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 44, Tabela 45 e Tabela 46) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 117, Figura 118 e Figura 119), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), o posto 10 (10%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e o posto 5 (10%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7 e 8 (70%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 4, 8 e 9 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, os postos 1, 6 e 7 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3 e 8 (30%) estão classificados como amarelo

(atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 4, 7, 8 e 9 (60%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h e 14h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 4, 8 e 9 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 8 e 9 (30%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, 10h e 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 12h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3 e 8 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h, os postos 1, 2 e 6 (30%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 7 e 8 (30%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

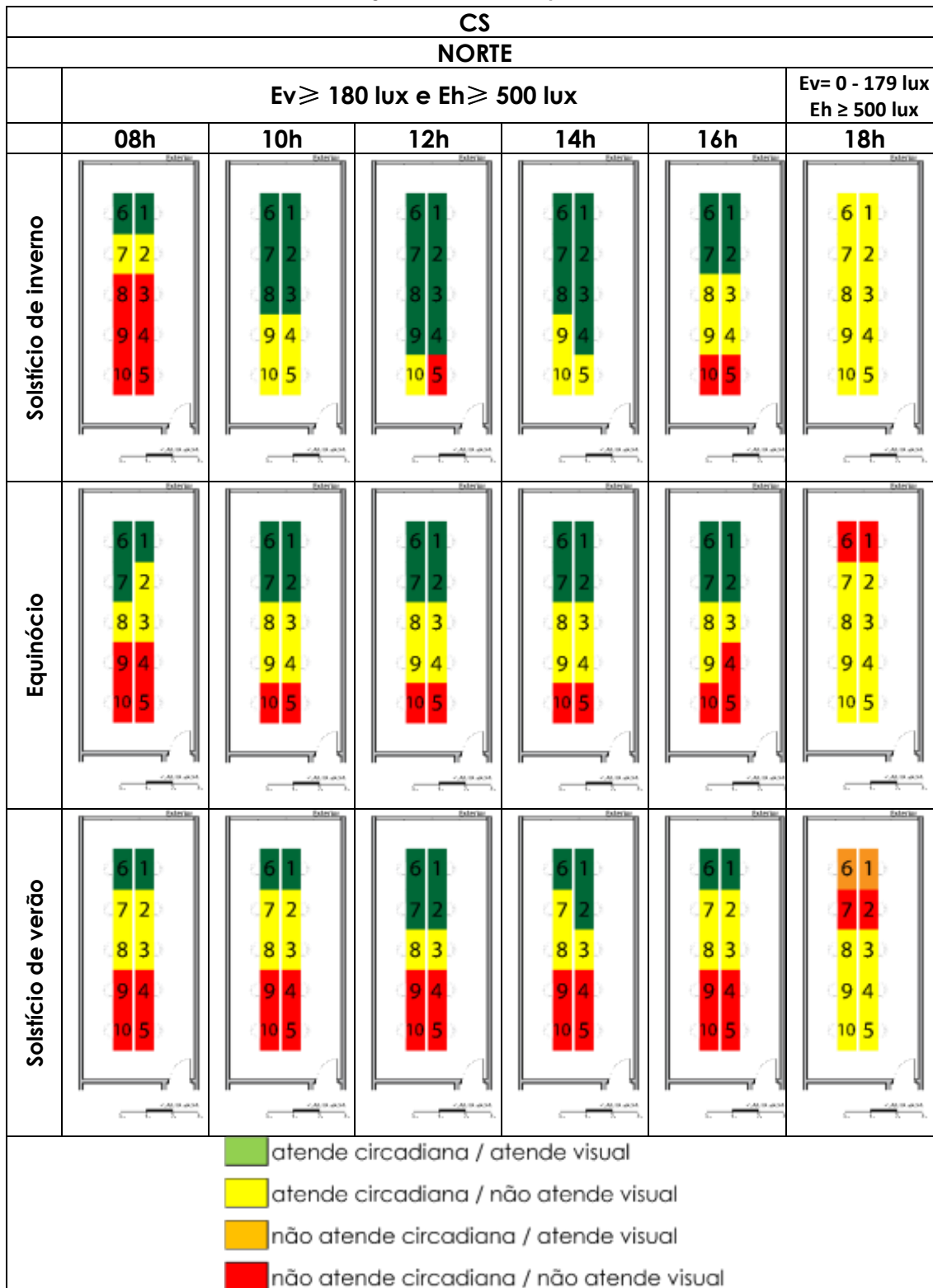
- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

Tabela 37 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em norte e classificados de acordo com os parâmetros do CS

		CS													
		NORTE													
		Ev ≥ 180 lux e Eh ≥ 500 lux											Ev= 0 - 179 lux e Eh ≥ 500 lux		
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	1090	607	26621	4394	5247	4998	4858	5308	2001	18553	0	0
		7	2	362	322	1691	1671	1644	1532	1673	1608	1134	816	0	0
		8	3	160	146	758	696	841	729	822	738	566	385	0	0
		9	4	86	81	405	360	474	413	444	408	279	215	0	0
		10	5	56	51	261	234	317	178	289	263	168	139	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	834	584	20684	17337	25941	25887	24890	25265	1954	4830	0	0
		7	2	324	272	2728	1733	1907	1898	1666	1842	773	919	0	0
		8	3	151	137	801	746	965	962	857	923	419	457	0	0
		9	4	83	78	432	412	530	528	476	503	241	252	0	0
		10	5	55	53	273	266	341	342	308	324	157	163	0	0
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	1534	1302	2260	1907	1899	1679	1885	2037	1561	1724	209	259
		7	2	565	547	913	831	874	795	848	820	671	620	98	94
		8	3	268	259	444	407	452	452	475	395	382	295	51	45
		9	4	148	136	246	219	256	225	252	224	191	168	29	26
		10	5	99	92	164	148	174	153	167	150	122	111	20	17
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	1278	1109	2333	2122	2402	2410	2159	2389	1358	1607	191	211
		7	2	535	495	956	888	997	1002	906	990	619	687	87	93
		8	3	261	251	458	438	486	487	454	480	322	340	45	47
		9	4	148	144	256	248	272	273	259	269	187	193	27	28
		10	5	99	99	170	167	181	183	174	180	126	130	19	19
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	1044	826	1212	922	1188	1080	1028	1119	931	1070	596	580
		7	2	420	370	497	420	513	461	474	454	438	412	273	236
		8	3	209	183	248	210	264	229	250	221	230	200	141	117
		9	4	119	105	141	122	150	132	143	128	131	115	80	69
		10	5	83	73	98	85	104	91	100	88	91	80	55	48
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	889	846	1150	1099	1302	1309	1167	1240	933	1018	521	545
		7	2	382	371	471	454	541	543	485	508	405	428	239	243
		8	3	193	190	234	228	266	267	244	250	210	215	125	125
		9	4	114	113	137	135	153	153	142	144	125	126	75	74
		10	5	80	80	96	96	105	106	99	101	88	90	37	53

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 38 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para NORTE em CS



Fonte: AUTORA, 2020.

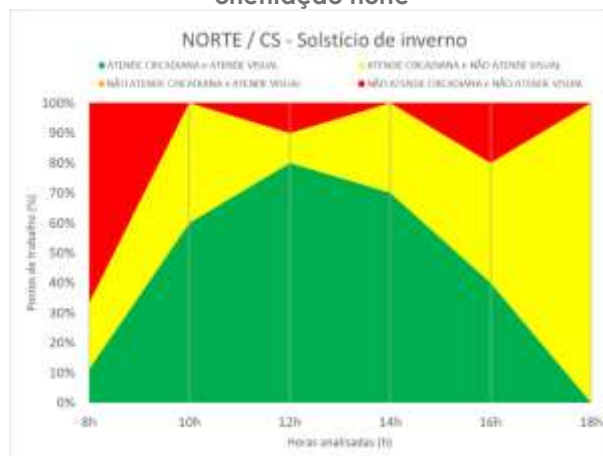
Tabela 39 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação norte

	Solstício de inverno					
	NORTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	20%	60%	80%	70%	40%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	20%	40%	10%	30%	40%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	60%	0%	10%	0%	20%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 117– CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação norte



Fonte: AUTORA, 2020.

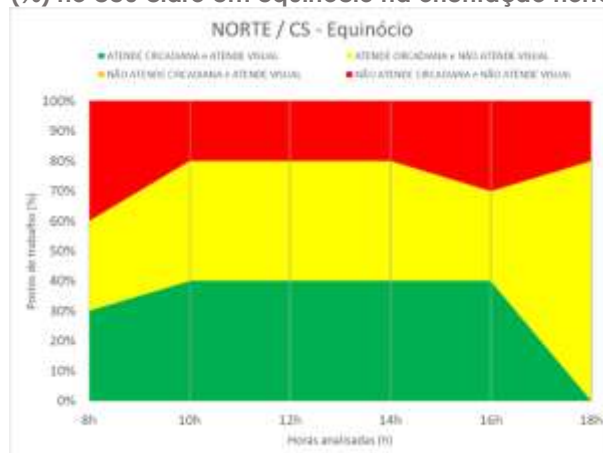
Tabela 40 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação norte

	Equinócio					
	NORTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	30%	40%	40%	40%	40%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	30%	40%	40%	40%	30%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	20%	20%	20%	30%	20%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 118 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação norte



Fonte: AUTORA, 2020.

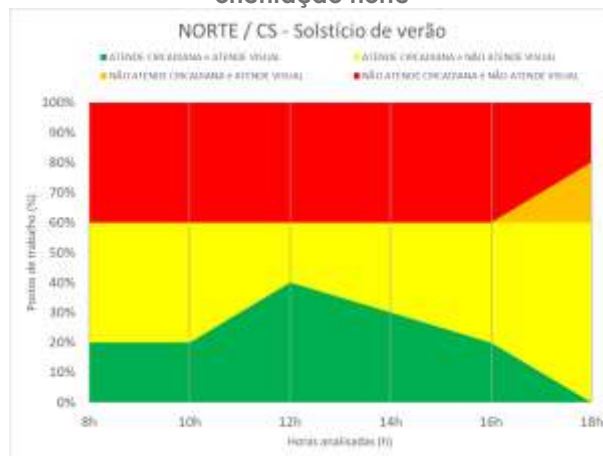
Tabela 41 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação norte

	Solstício de verão					
	NORTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	20%	20%	40%	30%	20%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	20%	30%	40%	60%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	20%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	40%	40%	20%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 119 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação norte



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *Relações entre EML e CS*

Às 14h e 16h, os critérios determinados para os cronogramas são diferentes. Enquanto para o EML não é recomendada a Ev ser circadianamente ativa, esses horários se mantêm circadianamente ativos para a CS. Portanto, a comparação entre as métricas circadianas nesses horários não é possível, mantendo-se somente os mesmos parâmetros de conforto visual.

No solstício de inverno:

- Às 8h, enquanto para o EML os postos de trabalho 8 e 3(20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, enquanto para o EML o posto de trabalho 5 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, enquanto para o EML o posto de trabalho 9 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h e 12h, enquanto para o EML os postos de trabalho 5 e 10 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 10h e 12h, enquanto para o EML o posto de trabalho 9 está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, enquanto para o EML o posto de trabalho 8 (10%) está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual).

APÊNDICE E – FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU CLARO NA ORIENTAÇÃO OESTE

ANÁLISE QUANTITATIVA DO ATENDIMENTO À REQUISITOS VISUAIS E NÃO-VISUAIS

➤ EML ao longo do ano

Na Tabela 42 no diagrama visual (Tabela 43) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (E_v) e iluminância mantida (E_m). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (EML) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 44, Tabela 45 e Tabela 46) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 120, Figura 121 e Figura 122), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h e 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), o posto 5 (10%) está classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados em laranja (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, 10h e 12h os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados

como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual) e os demais postos (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7, 8, 9 e 10 (60%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, 10h e 12h os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), o posto 5 (10%) está classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

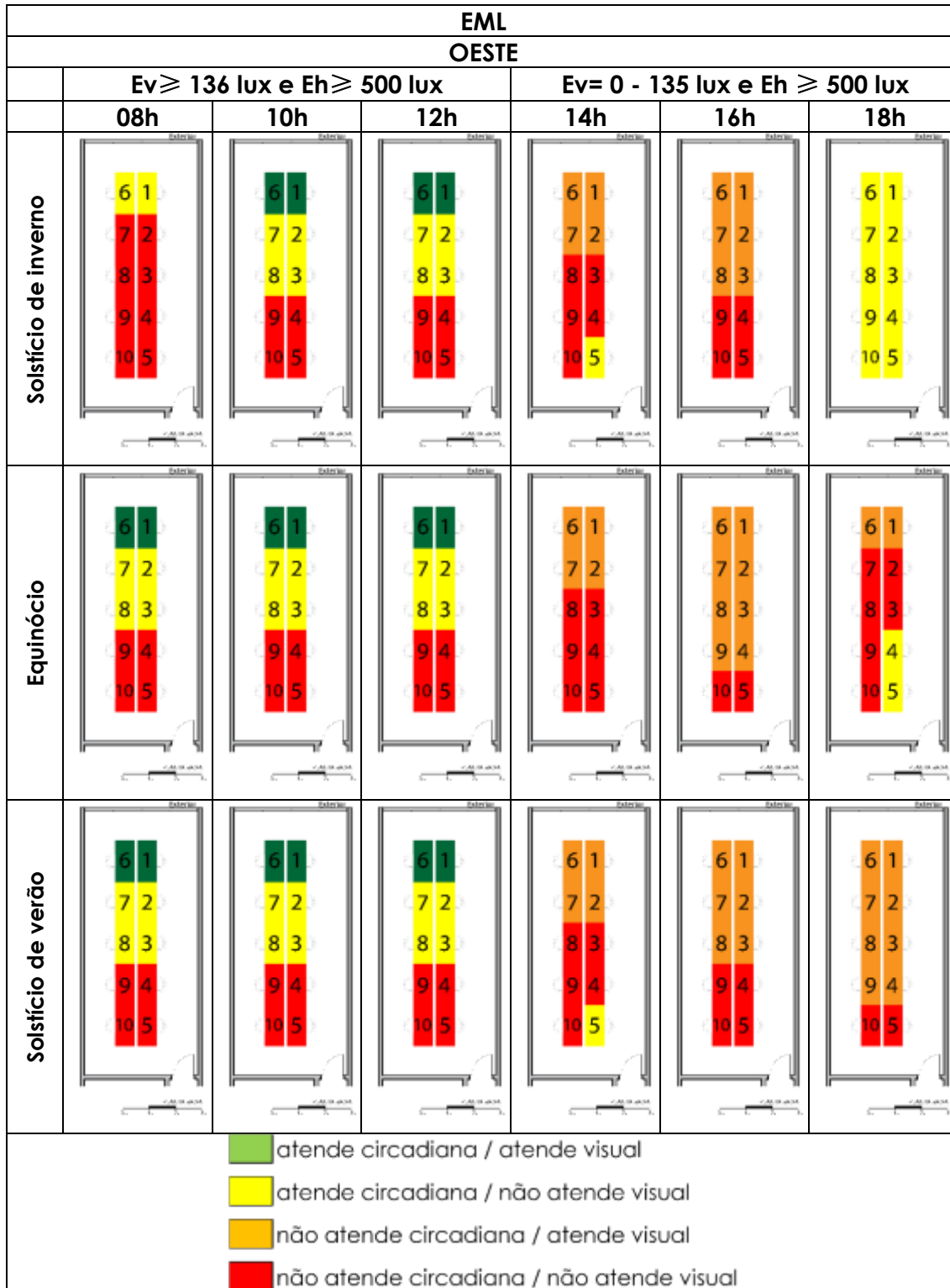
- Às 18h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 5 e 10 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

Tabela 42 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em oeste e classificados de acordo com os parâmetros do EML

		EML													
		OESTE													
				Ev ≥ 136 lux e Eh ≥ 500 lux						Ev = 0 - 135 lux e Eh ≥ 500 lux					
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	271	298	732	737	1133	868	2245	1854	16903	2759	0	0
		7	2	134	133	334	325	451	391	841	793	1369	1568	0	0
		8	3	73	67	178	162	223	193	399	373	609	762	0	0
		9	4	44	40	104	94	127	112	220	197	328	366	0	0
		10	5	32	28	74	66	88	77	145	133	210	209	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	266	276	677	685	971	918	2029	1745	8440	6244	0	0
		7	2	128	133	312	319	412	397	839	761	3284	1081	0	0
		8	3	68	70	164	167	207	202	404	384	637	577	0	0
		9	4	42	43	99	101	121	120	225	218	341	325	0	0
		10	5	31	31	72	73	86	86	149	147	216	210	0	0
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	656	663	849	831	1090	881	2162	1871	18206	4900	533	461
		7	2	326	307	397	374	458	397	904	823	2040	1911	337	278
		8	3	178	158	212	189	232	199	446	406	954	823	224	176
		9	4	106	95	124	112	132	116	248	219	522	446	161	127
		10	5	77	68	90	79	92	81	167	147	339	293	147	115
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	619	634	799	807	1039	1006	2358	2203	25683	25444	516	518
		7	2	303	311	370	375	435	423	970	917	4783	4680	329	329
		8	3	164	166	195	197	218	214	465	449	1051	1008	228	226
		9	4	101	102	119	120	128	127	258	253	573	554	171	169
		10	5	74	75	87	88	90	90	172	170	364	355	154	154
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	816	739	844	796	928	845	1658	1542	4319	4297	2720	10324
		7	2	398	349	399	361	416	372	744	683	1409	1349	2257	9337
		8	3	214	182	214	185	217	187	383	336	738	664	1511	1393
		9	4	126	110	125	110	124	109	216	190	420	370	644	517
		10	5	91	79	90	78	88	77	147	130	283	249	391	327
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	732	739	795	807	962	967	2001	2011	22011	22110	9112	9351
		7	2	359	359	368	371	403	404	839	844	1670	1723	7648	8477
		8	3	193	192	195	195	204	204	407	409	842	864	3171	6552
		9	4	119	118	119	119	121	121	228	229	464	474	594	642
		10	5	87	87	86	87	86	86	152	154	301	307	393	421

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 43 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para OESTE em EML



Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 44 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação oeste

	Solstício de inverno					
	OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	20%	40%	40%	10%	0%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	40%	60%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	80%	40%	40%	50%	40%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 45 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação oeste

	Equinócio					
	OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	20%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	0%	0%	20%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	40%	80%	20%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	60%	20%	60%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

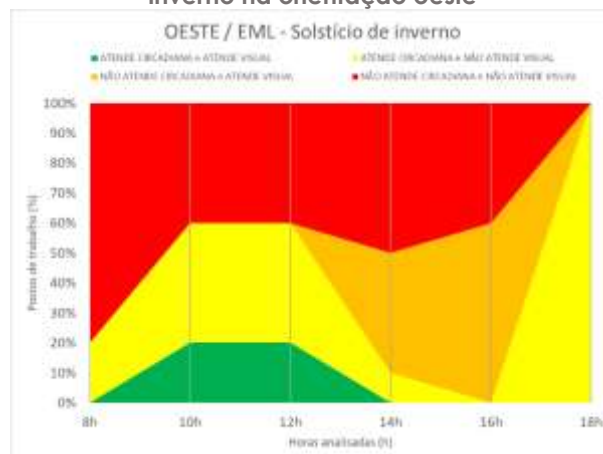
Tabela 46 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação oeste

	Solstício de verão					
	OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	20%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	10%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	40%	60%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	50%	40%	20%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual

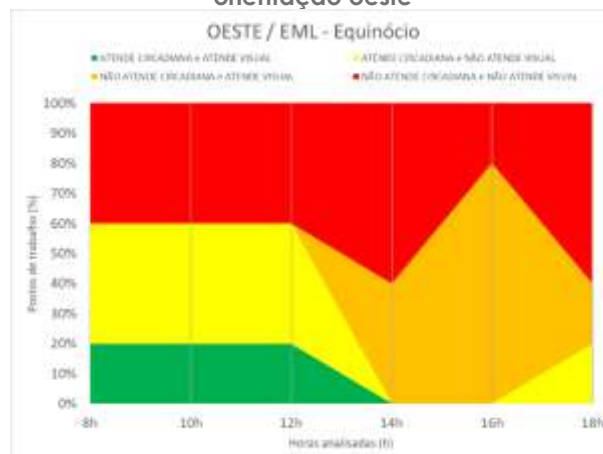
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 120– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação oeste



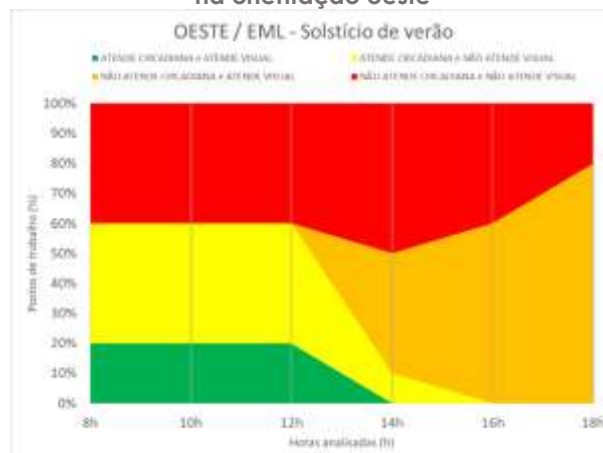
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 121 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 122 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ CS ao longo do ano

Na Tabela 47 e no diagrama visual (Tabela 48) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (Ev) e iluminância mantida (Em). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (CS) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 49, Tabela 50 e Tabela 51) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 123, Figura 124 e Figura 125), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 4, 8 e 9 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2 e 7 (20%) estão classificados como amarelo

(atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h e 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 4, 8 e 9 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (30%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual) e os demais postos (50%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, 10h e 12h os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 14h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 4, 8 e 9 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1, 2, 3, 6, 7 e 8 (60%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9 (80%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

Tabela 47 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em oeste e classificados de acordo com os parâmetros do CS

		CS													
		OESTE													
		Ev ≥ 180 lux e Eh ≥ 500 lux											Ev = 0 - 179 lux e Eh ≥ 500 lux		
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	271	298	732	737	1133	868	2245	1854	16903	2759	0	0
		7	2	134	133	334	325	451	391	841	793	1369	1568	0	0
		8	3	73	67	178	162	223	193	399	373	609	762	0	0
		9	4	44	40	104	94	127	112	220	197	328	366	0	0
		10	5	32	28	74	66	88	77	145	133	210	209	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	266	276	677	685	971	918	2029	1745	8440	6244	0	0
		7	2	128	133	312	319	412	397	839	761	3284	1081	0	0
		8	3	68	70	164	167	207	202	404	384	637	577	0	0
		9	4	42	43	99	101	121	120	225	218	341	325	0	0
		10	5	31	31	72	73	86	86	149	147	216	210	0	0
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	656	663	849	831	1090	881	2162	1871	18206	4900	533	461
		7	2	326	307	397	374	458	397	904	823	2040	1911	337	278
		8	3	178	158	212	189	232	199	446	406	954	823	224	176
		9	4	106	95	124	112	132	116	248	219	522	446	161	127
		10	5	77	68	90	79	92	81	167	147	339	293	147	115
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	619	634	799	807	1039	1006	2358	2203	25683	25444	516	518
		7	2	303	311	370	375	435	423	970	917	4783	4680	329	329
		8	3	164	166	195	197	218	214	465	449	1051	1008	228	226
		9	4	101	102	119	120	128	127	258	253	573	554	171	169
		10	5	74	75	87	88	90	90	172	170	364	355	154	154
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	816	739	844	796	928	845	1658	1542	4319	4297	2720	10324
		7	2	398	349	399	361	416	372	744	683	1409	1349	2257	9337
		8	3	214	182	214	185	217	187	383	336	738	664	1511	1393
		9	4	126	110	125	110	124	109	216	190	420	370	644	517
		10	5	91	79	90	78	88	77	147	130	283	249	391	327
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	732	739	795	807	962	967	2001	2011	22011	22110	9112	9351
		7	2	359	359	368	371	403	404	839	844	1670	1723	7648	8477
		8	3	193	192	195	195	204	204	407	409	842	864	3171	6552
		9	4	119	118	119	119	121	121	228	229	464	474	594	642
		10	5	87	87	86	87	86	86	152	154	301	307	393	421

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 48 – Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para OESTE em CS

CS						
OESTE						
	$E_v \geq 180 \text{ lux}$ e $E_h \geq 500 \text{ lux}$					$E_v = 0 - 179 \text{ lux}$ $E_h \geq 500 \text{ lux}$
	08h	10h	12h	14h	16h	18h
Solstício de inverno						
Equinócio						
Solstício de verão						
<p> atende circadiana / atende visual atende circadiana / não atende visual não atende circadiana / atende visual não atende circadiana / não atende visual </p>						

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 49 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação oeste

	Solstício de inverno					
	OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	20%	20%	40%	60%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	20%	20%	40%	40%	40%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	80%	60%	40%	20%	0%	0%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 50 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação oeste

	Equinócio					
	OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	20%	20%	20%	40%	20%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	20%	40%	40%	40%	80%	50%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	20%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	60%	40%	40%	20%	0%	30%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

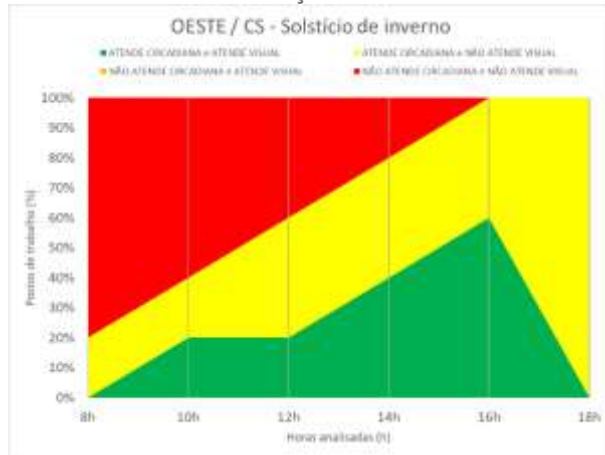
Tabela 51 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação oeste

	Solstício de verão					
	OESTE					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	20%	20%	20%	40%	60%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	40%	40%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	20%	0%	20%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

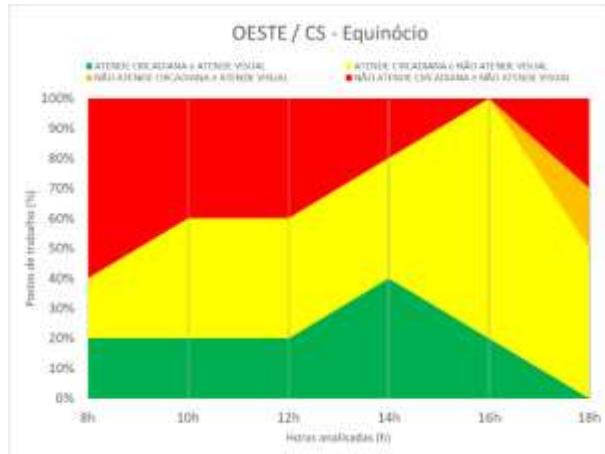
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 123– CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação oeste



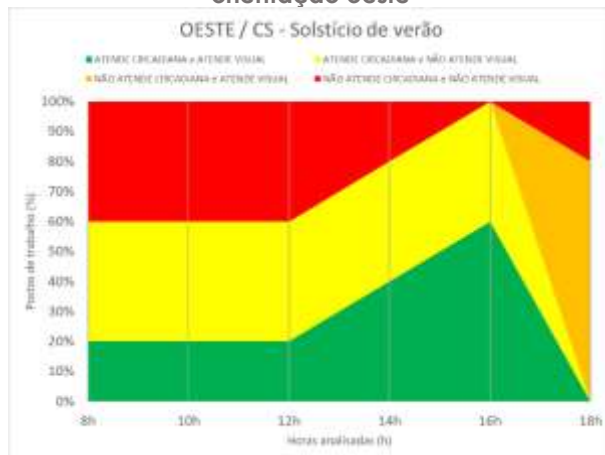
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 124 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 125 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação oeste



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *Relações entre EML e CS*

Às 14h e 16h, os critérios determinados para os cronogramas são diferentes. Enquanto para o EML não é recomendada a Ev ser circadianamente ativa, esses horários se mantêm circadianamente ativos para a CS. Portanto, a comparação entre as métricas circadianas nesses horários não é possível, mantendo-se somente os mesmos parâmetros de conforto visual.

No solstício de inverno:

- Às 10h, enquanto para o EML os postos de trabalho 8 e 3 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, enquanto para o EML os postos de trabalho 8 e 3 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, enquanto para o EML o posto de trabalho 3, 9 e 10 (30%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Não constam diferenças de classificação.

APÊNDICE F - FASE 01: DESCRIÇÃO DE RESULTADOS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA LUZ NATURAL EM CÉU CLARO NA ORIENTAÇÃO SUL

ANÁLISE QUANTITATIVA DO ATENDIMENTO À REQUISITOS VISUAIS E NÃO-VISUAIS

➤ EML ao longo do ano

Na Tabela 52 no diagrama visual (Tabela 53) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (E_v) e iluminância mantida (E_m). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (EML) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 54, Tabela 55 e Tabela 56) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 126, Figura 127 e Figura 128), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, os postos 1, 6 e 7 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (70%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h e 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e o os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, o posto 1 (10%) está classificado em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 6 e 7 (30%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, o posto 1 (10%) está classificado como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 6, 7 e 8 (50%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h e 12h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h e 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, os postos 1, 2, 6 e 7 (40%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 3, 4, 8 e 9 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h e 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1, 6 e 7 (30%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 8 e 9 (40%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, os postos 1, 6 e 7 (30%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 4, 8 e 9 (50%) estão classificados

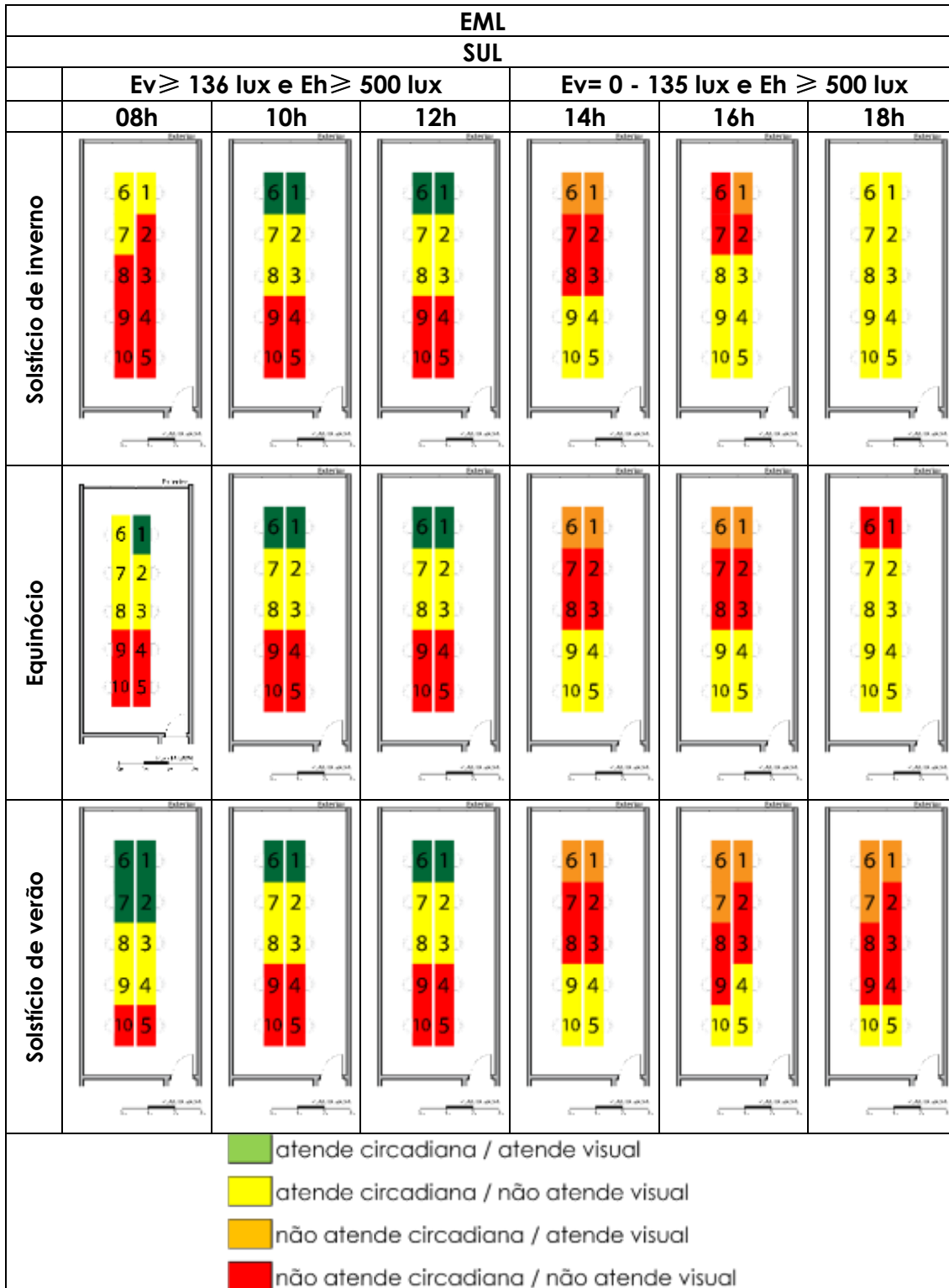
em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (20%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

Tabela 52 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em sul e classificados de acordo com os parâmetros do EML

		EML													
		SUL													
		Ev ≥ 136 lux e Eh ≥ 500 lux						Ev = 0 - 135 lux e Eh ≥ 500 lux							
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	314	264	787	660	840	770	769	787	528	556	0	0
		7	2	143	116	370	305	408	360	374	357	245	243	0	0
		8	3	73	60	193	160	218	188	202	183	131	121	0	0
		9	4	41	36	112	96	129	113	120	109	77	71	0	0
		10	5	29	25	80	69	94	82	88	78	56	50	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	264	266	674	676	756	765	725	741	496	508	0	0
		7	2	125	123	325	321	369	371	349	357	231	239	0	0
		8	3	65	64	173	170	199	198	187	190	122	125	0	0
		9	4	39	39	105	104	122	122	115	116	74	76	0	0
		10	5	28	28	76	76	90	90	84	86	54	55	0	0
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	724	748	894	839	847	793	881	831	904	782	267	197
		7	2	333	294	418	361	400	357	401	372	377	344	103	88
		8	3	171	145	217	184	212	184	211	189	191	171	50	43
		9	4	96	85	125	109	123	110	123	112	109	100	28	25
		10	5	68	59	89	77	89	78	89	79	78	69	19	17
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	154	691	817	845	799	812	828	830	788	767	204	192
		7	2	295	304	375	379	368	371	374	377	347	343	90	86
		8	3	154	155	197	196	194	194	196	197	178	177	46	44
		9	4	92	92	119	118	118	118	119	119	106	106	27	26
		10	5	65	66	85	86	86	86	86	87	75	76	19	19
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	1190	1429	939	1054	889	857	1029	863	1424	1025	1466	1313
		7	2	541	516	442	418	408	370	443	386	553	478	530	510
		8	3	293	245	231	205	212	186	224	194	267	227	249	231
		9	4	155	139	132	119	122	110	128	114	149	133	137	136
		10	5	106	94	94	82	87	77	91	80	103	92	91	88
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	1140	1310	1003	1079	934	957	1016	996	1266	1168	1226	1023
		7	2	507	555	424	445	395	401	424	417	524	493	511	466
		8	3	262	275	217	223	201	202	214	211	257	248	246	236
		9	4	153	158	129	131	120	120	126	125	147	144	137	134
		10	5	106	108	91	93	85	86	89	89	102	101	91	90

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 53 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para SUL em EML



Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 54 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação sul

	Solstício de inverno					
	SUL					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	30%	40%	40%	40%	60%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	20%	10%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	70%	40%	40%	40%	30%	0%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 55 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação sul

	Equinócio					
	SUL					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	10%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	50%	40%	40%	40%	40%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	20%	20%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	40%	40%	20%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

Fonte: AUTORA, 2020.

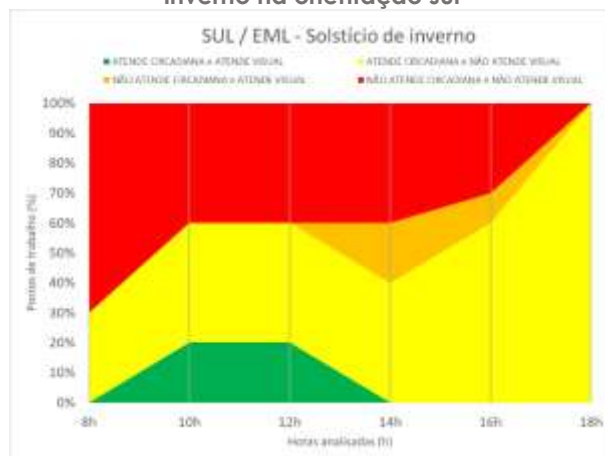
Tabela 56 – EML: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação sul

	Solstício de verão					
	SUL					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	40%	20%	20%	0%	0%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	40%	30%	20%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	20%	30%	30%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	20%	40%	40%	40%	40%	50%

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

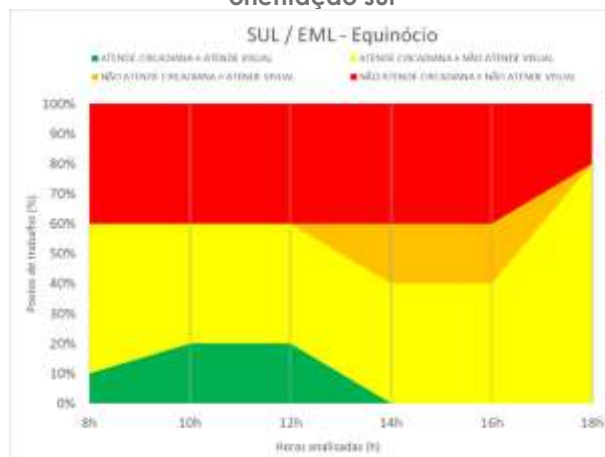
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 126– EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação sul



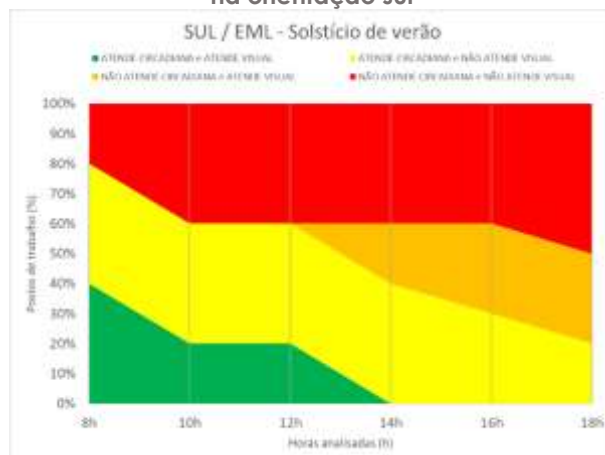
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 127 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação sul



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 128 – EML: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação sul



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *CS ao longo do ano*

Na Tabela 57 e no diagrama visual (Tabela 58) podemos identificar o comportamento da iluminância vertical (E_v) e iluminância mantida (E_m). Conforme os parâmetros determinados para o horário (cronograma determinado no Cap.5) para os requisitos não-visuais (CS) e visuais (ABNT NBR ISO/CIE 8995-1), os valores são classificados segundo a legenda de classificação apresentada na metodologia (Cap.5). O diagrama visual dos resultados é transformado em *resultados percentuais (%)* (Tabela 59, Tabela 60 e Tabela 61) e em um *gráfico com resultados percentuais empilhados* (Figura 129, Figura 130 e Figura 131), por período do ano e horários ao longo do dia.

No solstício de inverno:

- Às 8h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual) e os demais postos (80%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (30%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 12h e 14h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7, e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e o os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 16h, os postos 1 (10%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 6 e 7 (30%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, todos os postos (100%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, os postos 1 (10%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 6 e 7 (30%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (60%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, 12h e 14h os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 7 e 8 (40%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (50%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1 e 6 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (80%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

No solstício de verão:

- Às 8h, os postos 1, 2, 3 e 4 (40%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 8 e 3 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 10h, 12h e 14h os postos 1 e 6 (20%) estão classificados como verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3, 7 e 8 (40%) estão classificados como amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) está classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 16h, os postos 1, 6 e 7 (30%) estão classificados em verde (atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3 e 8 (30%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

- Às 18h, os postos 1, 6 e 7 (30%) estão classificados em laranja (não atende circadiana / atende visual), os postos 2, 3 e 8 (30%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual) e os demais postos (40%) estão classificado como amarelo (atende circadiana / não atende visual).

Tabela 57 - Tabela com os valores de iluminância vertical e horizontal (lux) dos postos de trabalho em céu claro em sul e classificados de acordo com os parâmetros do CS

		CS													
		SUL													
		Ev ≥ 180 lux e Eh ≥ 500 lux											Ev = 0 - 179 lux e Eh ≥ 500 lux		
		B	A	8h		10h		12h		14h		16h		18h	
Solstício de inverno	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	314	264	787	660	840	770	769	787	528	556	0	0
		7	2	143	116	370	305	408	360	374	357	245	243	0	0
		8	3	73	60	193	160	218	188	202	183	131	121	0	0
		9	4	41	36	112	96	129	113	120	109	77	71	0	0
		10	5	29	25	80	69	94	82	88	78	56	50	0	0
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	264	266	674	676	756	765	725	741	496	508	0	0
		7	2	125	123	325	321	369	371	349	357	231	239	0	0
		8	3	65	64	173	170	199	198	187	190	122	125	0	0
		9	4	39	39	105	104	122	122	115	116	74	76	0	0
		10	5	28	28	76	76	90	90	84	86	54	55	0	0
Equinócio	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	724	748	894	839	847	793	881	831	904	782	267	197
		7	2	333	294	418	361	400	357	401	372	377	344	103	88
		8	3	171	145	217	184	212	184	211	189	191	171	50	43
		9	4	96	85	125	109	123	110	123	112	109	100	28	25
		10	5	68	59	89	77	89	78	89	79	78	69	19	17
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	154	691	817	845	799	812	828	830	788	767	204	192
		7	2	295	304	375	379	368	371	374	377	347	343	90	86
		8	3	154	155	197	196	194	194	196	197	178	177	46	44
		9	4	92	92	119	118	118	118	119	119	106	106	27	26
		10	5	65	66	85	86	86	86	86	87	75	76	19	19
Solstício de verão	ILUMINANCIA VERTICAL	6	1	1190	1429	939	1054	889	857	1029	863	1424	1025	1466	1313
		7	2	541	516	442	418	408	370	443	386	553	478	530	510
		8	3	293	245	231	205	212	186	224	194	267	227	249	231
		9	4	155	139	132	119	122	110	128	114	149	133	137	136
		10	5	106	94	94	82	87	77	91	80	103	92	91	88
	ILUMINANCIA HORIZONTAL	6	1	1140	1310	1003	1079	934	957	1016	996	1266	1168	1226	1023
		7	2	507	555	424	445	395	401	424	417	524	493	511	466
		8	3	262	275	217	223	201	202	214	211	257	248	246	236
		9	4	153	158	129	131	120	120	126	125	147	144	137	134
		10	5	106	108	91	93	85	86	89	89	102	101	91	90

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 58 - Diagrama Visual dos resultados de simulação computacional de acordo com legenda de classificação em céu claro para SUL em CS

CS						
SUL						
	$E_v \geq 180 \text{ lux e } E_h \geq 500 \text{ lux}$					$E_v = 0 - 179 \text{ lux}$ $E_h \geq 500 \text{ lux}$
	08h	10h	12h	14h	16h	18h
Solstício de inverno						
Equinócio						
Solstício de verão						
<p> ■ atende circadiana / atende visual ■ atende circadiana / não atende visual ■ não atende circadiana / atende visual ■ não atende circadiana / não atende visual </p>						

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 59 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação sul

	Solstício de inverno					
	SUL					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	20%	20%	20%	10%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	20%	30%	40%	40%	30%	100%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	80%	50%	40%	40%	60%	0%

■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual
 Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 60 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação sul

	Equinócio					
	SUL					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	10%	20%	20%	20%	20%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	30%	40%	40%	40%	30%	80%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	0%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	60%	40%	40%	40%	50%	20%

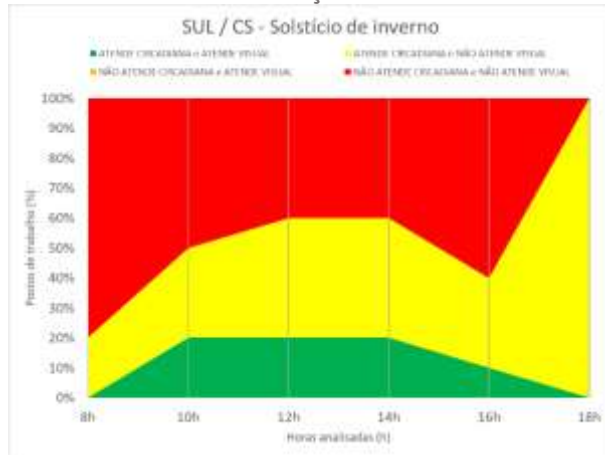
■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual
 Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 61 – CS: Resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação sul

	Solstício de verão					
	SUL					
	8h	10h	12h	14h	16h	18h
ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	40%	20%	20%	20%	30%	0%
ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	20%	40%	40%	40%	30%	40%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e ATENDE VISUAL	0%	0%	0%	0%	0%	30%
NÃO ATENDE CIRCADIANA e NÃO ATENDE VISUAL	40%	40%	40%	40%	40%	30%

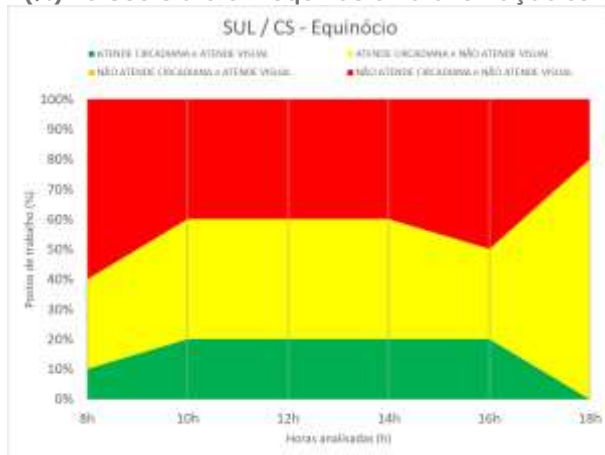
■ atende circadiana / atende visual
■ atende circadiana / não atende visual
■ não atende circadiana / atende visual
■ não atende circadiana / não atende visual
 Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 129– CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de inverno na orientação sul



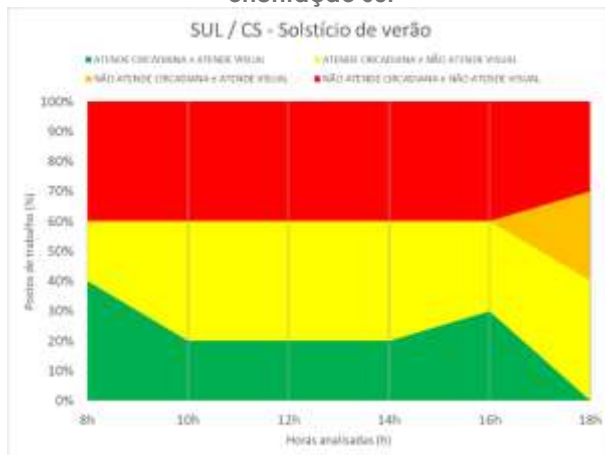
Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 130 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em equinócio na orientação sul



Fonte: AUTORA, 2020.

Figura 131 – CS: Gráficos de resultados percentuais (%) no céu claro em solstício de verão na orientação sul



Fonte: AUTORA, 2020.

➤ *Relações entre EML e CS*

Às 14h e 16h, os critérios determinados para os cronogramas são diferentes. Enquanto para o EML não é recomendada a Ev ser circadianamente ativa, esses horários se mantêm circadianamente ativos para a CS. Portanto, a comparação entre as métricas circadianas nesses horários não é possível, mantendo-se somente os mesmos parâmetros de conforto visual.

No solstício de inverno:

- Às 8h, enquanto para o EML o posto de trabalho 7 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 10h, enquanto para o EML o posto de trabalho 3 (10%) está classificado em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esse posto está classificado em vermelho (não atende circadiana / não atende visual).

No equinócio:

- Às 8h, enquanto para o EML os postos de trabalho 8 e 3 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);

No solstício de verão:

- Às 8h, enquanto para o EML os postos de trabalho 4 e 9 (20%) estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual);
- Às 18h, enquanto para o EML o posto de trabalho 9 e 4 (20%) estão classificados em vermelho (não atende circadiana / não atende visual), para o CS esses postos estão classificados em amarelo (atende circadiana / não atende visual).

APÊNDICE G – FASE 02: DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DA CONVERSÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO EM EML E CS – 500 LUX (100%)

Os resultados de simulação computacional indicam que a $E_m = 555$ lux e a $E_m(\text{entorno}) = 326$ lux, atendendo aos requisitos mínimos da norma brasileira.

Os resultados das calculadoras circadianas da EML e CS para uma simulação computacional que estão dispostos na Tabela 62, Tabela 63, Tabela 64, Tabela 65 e Tabela 66 foram classificados de acordo com a *legenda de classificação*. Os resultados das calculadoras circadianas, a partir da E_v e os DEP da fonte de luz, tiveram como resultado:

- para a EML, com o TCC de 2700K, foram de 171 EML para o posto 1; 206 EML para o posto 2; 212 EML para o posto 3; 208 EML para o posto 4; 178 EML para o posto 5; 168 EML para o posto 6; 203 EML para o posto 7; 210 EML para o posto 8; 205 EML para o posto 9; e 175 EML para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã (8h, 10h, 12h), mas não para o período da tarde (14h, 16h e 18h);

- para a CS, com o TCC de 2700 K, foram de 0,329 CS para o posto 1; 0,364 CS para o posto 2; 0,370 CS para o posto 3; 0,367 CS para o posto 4; 0,336 CS para o posto 5; 0,325 CS para o posto 6; 0,362 CS para o posto 7; 0,368 CS para o posto 8; 0,364 CS para o posto 9; e 0,333 CS para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã e tarde (8h, 10h, 12h, 14h e 16h), mas não para o período do entardecer (18h);

- para a EML, com o TCC de 3000 K, foram de 216 EML para o posto 1; 260 EML para o posto 2; 268 EML para o posto 3; 263 EML para o posto 4; 224 EML para o posto 5; 212 EML para o posto 6; 257 EML para o posto 7; 265 EML para o posto 8; 259 EML para o posto 9; e 221 EML para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã (8h, 10h, 12h), mas não para o período da tarde (14h, 16h e 18h);

- para a CS, com o TCC de 3000 K, foram de 0,373 CS para o posto 1; 0,408 CS para o posto 2; 0,414 CS para o posto 3; 0,410 CS para o posto 4; 0,380 CS para o posto 5; 0,369 CS para o posto 6; 0,406 CS para o posto 7; 0,412 CS para o posto 8; 0,407 CS para o posto 9; e 0,377 CS para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã e tarde (8h, 10h, 12h, 14h e 16h), mas não para o período do entardecer (18h);

- para a EML, com o TCC de 4000 K, foram de: 241 EML para o posto 1; 290 EML para o posto 2; 299 EML para o posto 3; 293 EML para o posto 4; 250 EML para

o posto 5; 236 EML para o posto 6; 286 EML para o posto 7; 296 EML para o posto 8; 289 EML para o posto 9; e 246 EML para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã (8h, 10h, 12h), mas não para o período da tarde (14h, 16h e 18h);

- para a CS, com o TCC de 4000 K, foram de 0,273 CS para o posto 1; 0,309 CS para o posto 2; 0,315 CS para o posto 3; 0,311 CS para o posto 4; 0,280 CS para o posto 5; 0,269 CS para o posto 6; 0,306 CS para o posto 7; 0,313 CS para o posto 8; 0,308 CS para o posto 9; e 0,277 CS para o posto 10. Os postos de trabalho 2, 3, 4, 7, 8 e 9 atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã e tarde (8h, 10h, 12h, 14h e 16h) e não atendem aos requisitos para o período do entardecer (18h). Os postos 1, 5, 6 e 10 não atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã e tarde (8h, 10h, 12h, 14h e 16h) e atendem aos requisitos para o período do entardecer (18h);

- para a EML, com o TCC de 5000 K, foram de: 327 EML para o posto 1; 395 EML para o posto 2; 407 EML para o posto 3; 399 EML para o posto 4; 341 EML para o posto 5; 321 EML para o posto 6; 389 EML para o posto 7; 402 EML para o posto 8; 393 EML para o posto 9; e 335 EML para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã (8h, 10h, 12h), mas não para o período da tarde (14h, 16h e 18h);

- para a CS, com o TCC de 5000 K, foram de 0,372 CS para o posto 1; 0,409 CS para o posto 2; 0,415 CS para o posto 3; 0,411 CS para o posto 4; 0,380 CS para o posto 5; 0,369 CS para o posto 6; 0,406 CS para o posto 7; 0,413 CS para o posto 8; 0,408 CS para o posto 9; e 0,377 CS para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã e tarde (8h, 10h, 12h, 14h e 16h), mas não para o período do entardecer (18h);

- para a EML, com o TCC de 6500 K, foram de: 323 EML para o posto 1; 390 EML para o posto 2; 402 EML para o posto 3; 394 EML para o posto 4; 336 EML para o posto 5; 317 EML para o posto 6; 384 EML para o posto 7; 397 EML para o posto 8; 388 EML para o posto 9; e 331 EML para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã (8h, 10h, 12h), mas não para o período da tarde (14h, 16h e 18h);

- para a CS, com o TCC de 6500 K, foram de 0,405 CS para o posto 1; 0,440 CS para o posto 2; 0,446 CS para o posto 3; 0,442 CS para o posto 4; 0,412 CS para o posto 5; 0,401 CS para o posto 6; 0,438 CS para o posto 7; 0,444 CS para o

posto 8; 0,439 CS para o posto 9; e 0,410 CS para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã e tarde (8h, 10h, 12h, 14h e 16h), mas não para o período do entardecer (18h).

Tabela 62 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 2700K

2700K							
A	B	Iluminância Vertical (lx)		EML		CS	
6	1	369	376	168	171	0.325	0.329
7	2	447	453	203	206	0.362	0.364
8	3	462	467	210	212	0.368	0.370
9	4	451	458	205	208	0.364	0.367
10	5	385	391	175	178	0.333	0.336

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 63 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 3000K

3000K							
A	B	Iluminância Vertical (lx)		EML		CS	
6	1	369	376	212	216	0.369	0.373
7	2	447	453	257	260	0.406	0.408
8	3	462	467	265	268	0.412	0.414
9	4	451	458	259	263	0.407	0.410
10	5	385	391	221	224	0.377	0.380

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 64 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 4000K

4000K							
A	B	Iluminância Vertical (lx)		EML		CS	
6	1	369	376	236	241	0.269	0.273
7	2	447	453	286	290	0.306	0.309
8	3	462	467	296	299	0.313	0.315
9	4	451	458	289	293	0.308	0.311
10	5	385	391	246	250	0.277	0.280

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 65 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 5000K

5000K							
A	B	Iluminância Vertical (lx)		EML		CS	
6	1	369	376	321	327	0.369	0.372
7	2	447	453	389	395	0.406	0.409
8	3	462	467	402	407	0.413	0.415
9	4	451	458	393	399	0.408	0.411
10	5	385	391	335	341	0.377	0.380

Fonte: AUTORA, 2020.

Tabela 66 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 6500K

6500K							
A	B	Iluminância Vertical (lx)		EML		CS	
6	1	369	376	317	323	0.401	0.405
7	2	447	453	384	390	0.438	0.440
8	3	462	467	397	402	0.444	0.446
9	4	451	458	388	394	0.439	0.442
10	5	385	391	331	336	0.410	0.412

Fonte: AUTORA, 2020.

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

APÊNDICE H – DISCUSSÃO: DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DA CONVERSÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO EM EML E CS DA FONTE 3000K – 400 LUX (70%)

Os resultados de simulação computacional indicam que a $E_m = 400$ lux e a $E_m(\text{entorno}) = 243$ lux, atendendo aos requisitos mínimos da IES.

Os resultados das calculadoras circadianas da EML e CS que estão dispostos na Tabela 67 foram classificados de acordo com a *legenda de classificação*. Os resultados das calculadoras circadianas, a partir da E_v e os DEP da fonte de luz, tiveram como resultado:

- para a EML, com o TCC de 3000 K com $E_m = 400$ lux, foram de 154 EML para o posto 1; 185 EML para o posto 2; 191 EML para o posto 3; 187 EML para o posto 4; 161 EML para o posto 5; 152 EML para o posto 6; 182 EML para o posto 7; 187 EML para o posto 8; 183 EML para o posto 9; e 158 EML para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã (8h, 10h, 12h), mas não para o período da tarde (14h, 16h e 18h);
- para a CS, com o TCC de 3000 K com $E_m = 400$ lux, foram de 0,309 CS para o posto 1; 0,344 CS para o posto 2; 0,349 CS para o posto 3; 0,345 CS para o posto 4; 0,316 CS para o posto 5; 0,304 CS para o posto 6; 0,339 CS para o posto 7; 0,345 CS para o posto 8; 0,342 CS para o posto 9; e 0,313 CS para o posto 10. Todos os postos de trabalho atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã e tarde (8h, 10h, 12h, 14h e 16h), mas não para o período do entardecer (18h).

Tabela 67 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 3000K a 400 lux (70%)

3000K							
A	B	Iluminância Vertical (lx)		EML		CS	
6	1	264	268	152	154	0.304	0.309
7	2	317	323	182	185	0.339	0.344
8	3	325	333	187	191	0.345	0.349
9	4	319	326	183	187	0.342	0.345
10	5	276	280	158	161	0.313	0.316

Fonte: AUTORA, 2020.

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

APÊNDICE I – DISCUSSÃO: DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DA CONVERSÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO EM EML E CS DA FONTE 3000K – 300 LUX (50%)

Os resultados de simulação computacional indicam que a $E_m = 302$ lux e a $E_m(\text{entorno}) = 190$ lux, atendendo aos requisitos mínimos da IES.

Os resultados das calculadoras circadianas da EML e CS que estão dispostos na Tabela 68 foram classificados de acordo com a *legenda de classificação*. Os resultados das calculadoras circadianas, a partir da E_v e os DEP da fonte de luz, tiveram como resultado:

- para a EML, com o TCC de 3000 K com $E_m = 300$ lux, foram de 115 EML para o posto 1; 138 EML para o posto 2; 139 EML para o posto 3; 139 EML para o posto 4; 121 EML para o posto 5; 113 EML para o posto 6; 135 EML para o posto 7; 139 EML para o posto 8; 137 EML para o posto 9; e 119 EML para o posto 10. Todos os postos de trabalho não atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã (8h, 10h, 12h), mas atendem para o período da tarde (14h, 16h e 18h);
- para a CS, com o TCC de 3000 K com $E_m = 300$ lux, foram de 0,255 CS para o posto 1; 0,287 CS para o posto 2; 0,293 CS para o posto 3; 0,289 CS para o posto 4; 0,263 CS para o posto 5; 0,250 CS para o posto 6; 0,283 CS para o posto 7; 0,289 CS para o posto 8; 0,286 CS para o posto 9; e 0,260 CS para o posto 10. Todos os postos de trabalho não atendem ao requisito mínimo recomendado para o horário da manhã e tarde (8h, 10h, 12h, 14h e 16h), mas atendem para o período da tarde (18h).

Tabela 68 -Tabela de iluminância vertical (lux), EML e CS do projeto de iluminação elétrica convencional com a fonte de luz com 3000K a 300 lux (50%)

3000K							
A	B	Iluminância Vertical (lx)		EML		CS	
6	1	197	201	113	115	0.250	0.255
7	2	236	241	135	138	0.283	0.287
8	3	242	242	139	139	0.289	0.293
9	4	238	243	137	139	0.286	0.289
10	5	207	211	119	121	0.260	0.263

Fonte: AUTORA, 2020.

- atende circadiana / atende visual
- atende circadiana / não atende visual
- não atende circadiana / atende visual
- não atende circadiana / não atende visual

ANEXOS

ANEXO A – COMPRIMENTO DE ONDA (NM) POR DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DE POTÊNCIA RELATIVA DO PADRÃO D65

Padrão Iluminante D65	
Comprimento de onda (nm)	Distribuição espectral de potência relativa
300	0.034
305	1.664
310	3.295
315	11.765
320	20.236
325	28.645
330	37.054
335	38.501
340	39.949
345	42.430
350	44.912
355	45.775
360	46.638
365	49.364
370	52.089
375	51.032
380	49.976
385	52.312
390	54.648
395	68.702
400	82.755
405	87.120
410	91.486
415	92.459
420	93.432
425	90.057
430	86.682
435	95.774
440	104.865
445	110.936
450	117.008
455	117.410
460	117.812
465	116.336
470	114.861
475	115.392
480	115.923
485	112.367
490	108.811
495	109.082
500	109.354
505	108.578
510	107.802
515	106.296
520	104.790
525	106.239
530	107.689
535	106.047
540	104.405
545	104.225
550	104.046
555	102.023
560	100.000

565	98.167
570	96.334
575	96.061
580	95.788
585	92.237
590	88.686
595	89.346
600	90.006
605	89.803
610	89.599
615	88.649
620	87.699
625	85.494
630	83.289
635	83.494
640	83.699
645	81.863
650	80.027
655	80.121
660	80.215
665	81.246
670	82.278
675	80.281
680	78.284
685	74.003
690	69.721
695	70.665
700	71.609
705	72.979
710	74.349
715	67.977
720	61.604
725	65.745
730	69.886
735	72.486
740	75.087
745	69.340
750	63.593
755	55.005
760	46.418
765	56.612
770	66.805
775	65.094
780	63.383

FONTE: CIE, 2006.

**ANEXO B – COMPRIMENTO DE ONDA (NM) POR RADIÂNCIA ESPECTRAL (NW/M²)
DAS TCC 2700 K, 3000 K, 4000 K, 5000 K, 6500 K.**

2700 K		3000 K		4000 K	
Comprimento de onda (nm)	Radiância espectral (mW/m ²)	Comprimento de onda (nm)	Radiância espectral (mW/m ²)	Comprimento de onda (nm)	Radiância espectral (mW/m ²)
380	0.000	380	0.000	380	0.000
385	0.000	385	0.000	385	0.000
390	0.000	390	0.000	390	0.000
395	0.000	395	0.000	395	0.000
400	0.000	400	0.000	400	0.000
405	0.000	405	0.000	405	0.000
410	0.000	410	0.000	410	4.702
415	6.339	415	6.466	415	10.665
420	11.973	420	12.120	420	22.552
425	25.299	425	23.585	425	45.292
430	49.151	430	43.832	430	82.097
435	92.654	435	72.907	435	138.708
440	150.642	440	118.681	440	221.211
445	188.792	445	198.482	445	294.390
450	162.068	450	277.015	450	280.203
455	114.133	455	268.125	455	197.965
460	81.516	460	206.330	460	135.577
465	59.369	465	169.094	465	97.180
470	42.576	470	147.930	470	68.930
475	33.675	475	126.699	475	54.047
480	31.388	480	122.093	480	49.918
485	34.965	485	132.065	485	53.290
490	43.273	490	148.918	490	64.761
495	57.647	495	167.667	495	82.596
500	74.202	500	185.965	500	103.683
505	91.752	505	203.130	505	125.906
510	110.485	510	215.308	510	146.120
515	127.546	515	224.303	515	162.999
520	142.131	520	231.697	520	176.045
525	153.679	525	240.331	525	186.225
530	164.431	530	247.972	530	195.056
535	174.797	535	257.316	535	201.157
540	185.125	540	268.061	540	205.691
545	196.478	545	281.497	545	211.263
550	211.588	550	295.712	550	216.903
555	225.912	555	311.681	555	221.295
560	242.495	560	328.750	560	226.567
565	258.861	565	347.608	565	231.410
570	276.311	570	369.013	570	236.321

575	291.109	575	392.166	575	241.941
580	303.573	580	412.714	580	246.949
585	313.417	585	435.591	585	251.887
590	317.442	590	454.634	590	255.548
595	315.480	595	468.840	595	256.565
600	309.324	600	473.449	600	254.895
605	299.567	605	474.843	605	251.270
610	286.366	610	469.518	610	243.965
615	270.064	615	460.845	615	236.759
620	250.744	620	444.410	620	226.551
625	228.836	625	426.630	625	213.883
630	209.937	630	402.401	630	200.424
635	190.989	635	379.393	635	187.204
640	171.136	640	352.284	640	173.685
645	149.847	645	321.205	645	157.012
650	134.692	650	292.450	650	142.253
655	116.244	655	263.702	655	127.993
660	101.654	660	235.259	660	115.324
665	87.850	665	208.987	665	102.534
670	76.157	670	186.554	670	90.820
675	65.206	675	164.212	675	80.521
680	56.286	680	145.484	680	70.650
685	49.437	685	127.550	685	61.353
690	42.369	690	111.472	690	53.617
695	36.430	695	96.920	695	47.071
700	32.150	700	83.282	700	40.513
705	27.004	705	73.253	705	35.902
710	23.113	710	63.615	710	31.080
715	19.878	715	54.806	715	27.749
720	17.737	720	47.392	720	23.770
725	16.257	725	41.518	725	20.546
730	14.044	730	35.048	730	18.604
735	13.128	735	31.722	735	15.821
740	10.315	740	27.553	740	14.427
745	0.000	745	23.190	745	12.291
750	0.000	750	21.643	750	10.939
755	0.000	755	19.993	755	10.571
760	0.000	760	0.000	760	0.000
765	0.000	765	0.000	765	0.000
770	0.000	770	0.000	770	0.000
775	0.000	775	0.000	775	0.000
780	0.000	780	0.000	780	0.000

Dados disponibilizados por fabricante de luminárias. Foi mantida a sua identificação de forma anônima pela autora.

5000K		6500K	
Comprimento de onda (nm)	Radiância espectral (mW/m ² nm)	Comprimento de onda (nm)	Radiância espectral (mW/m ²)
380	0.000	380	0.000
385	0.000	385	0.000
390	0.000	390	0.000
395	0.000	395	0.000
400	0.000	400	0.000
405	0.000	405	6.396
410	0.000	410	15.607
415	15.430	415	34.066
420	36.663	420	70.793
425	78.926	425	132.487
430	147.446	430	221.417
435	246.362	435	334.702
440	386.574	440	457.424
445	583.610	445	534.537
450	707.636	450	475.376
455	602.586	455	335.546
460	436.102	460	225.996
465	346.728	465	157.661
470	282.606	470	110.247
475	233.914	475	80.929
480	225.544	480	69.403
485	241.945	485	70.067
490	270.128	490	81.515
495	297.327	495	104.223
500	325.991	500	134.610
505	348.120	505	168.653
510	361.696	510	202.398
515	370.634	515	230.643
520	375.881	520	253.487
525	378.091	525	268.297
530	381.702	530	278.906
535	385.569	535	285.165
540	394.751	540	285.582
545	401.927	545	286.096
550	411.616	550	286.469
555	417.612	555	282.756
560	423.317	560	279.999
565	429.519	565	276.086
570	437.438	570	269.984
575	446.735	575	262.963
580	451.211	580	256.295
585	456.085	585	248.086
590	459.826	590	239.242

595	454.659		595	226.503
600	448.506		600	214.290
605	437.775		605	200.221
610	424.043		610	185.451
615	404.450		615	170.525
620	386.846		620	155.698
625	363.877		625	141.869
630	337.654		630	127.653
635	311.689		635	114.576
640	282.960		640	102.623
645	257.913		645	90.889
650	231.956		650	80.522
655	205.654		655	70.480
660	183.806		660	62.289
665	161.481		665	54.907
670	143.182		670	48.574
675	126.194		675	42.535
680	108.446		680	37.203
685	95.176		685	32.620
690	84.155		690	28.126
695	73.150		695	24.858
700	63.859		700	21.880
705	54.896		705	19.327
710	46.804		710	16.931
715	40.683		715	14.756
720	34.937		720	13.430
725	30.449		725	11.802
730	27.060		730	11.370
735	23.758		735	9.922
740	19.690		740	0.000
745	17.911		745	0.000
750	0.000		750	0.000
755	0.000		755	0.000
760	0.000		760	0.000
765	0.000		765	0.000
770	0.000		770	0.000
775	0.000		775	0.000
780	0.000		780	0.000

Dados disponibilizados por fabricante de luminárias. Foi mantida a sua identificação de forma anônima pela autora.