UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

JÚLIA SILVA DE MORAES

INDICADORES DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM AMBIENTES RESIDENCIAIS

Maceió - AL
2018

JÚLIA SILVA DE MORAES

INDICADORES DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM AMBIENTES RESIDENCIAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura

Orientador: Dr. Leonardo Salazar Bittencourt

Maceió - AL
2018

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4 - 661

M528i Moraes, Júlia Silva de.
Indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais / Júlia Silva de Moraes. – 2019.
182 f. : il.

Orientador: Leonardo Salazar Bittencourt.
Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2018.

Bibliografia: f. 132-140.
Glossário: f. 141-144.
Anexos: f. 145-182.

1. Arquitetura de habitação. 2. Iluminação artificial – Indicadores de desempenho. 3. Conforto visual. . 4. Iluminação de interiores. I. Título.

CDU: 728.1

Folha de aprovação

AUTOR: JÚLIA SILVA DE MORAES

Indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas.

Tese submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação Dinâmica do Espaço Habitado, Doutorado Cidades da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 10 de OUTUBRO de 2018.

Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL. (Orientador)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Aldomar Pedrini. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFRN (Examinador Externo)

Prof. Dr. Paulo Sérgio Scarazzato. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – USP (Examinador Externo)

Prof. Dr. Dilson Batista Ferreira. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL (Examinador interno)

Prof. Dr. Fernando Antonio de Melo Sá Cavalcanti. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL (Examinador interno)

Dedico com amor, aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Leonardo Bittencourt, orientador e amigo, pela sua generosidade de compartilhar tamanho saber, pelo incentivo diário, pela paciência e pela disponibilidade na orientação da Tese.

Ao professor Adrián Muros Alcojor, orientador de Doutorado Sanduíche na *Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona* (ETSAB/UPC), pela oportunidade de vivenciar e desenvolver parte da Tese no *Taller de Estudios Lumínicos* (TEL), pela atenção dada ao meu trabalho e por todos os ensinamentos.

Aos grupos de pesquisa da Universidade Federal da Bahia (UFBA) – em particular aos grupos do Laboratório de Conforto Ambiental (LACAM), ao Laboratório de Energia e Gás (LEN), à Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM) –, e atualmente, na UFAL, ao Grupo de Estudos em Conforto Ambiental (GECA), pelas várias orientações que recebi no decorrer da minha formação em pesquisa na área de Conforto Ambiental e Tecnologias Limpas, conhecimentos esses que me permitiram desenvolver este trabalho de Tese.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio a esta pesquisa, mediante concessão de bolsas de estudo nacional e no exterior.

Ao Instituto Federal da Bahia (IFBA), pela concessão do afastamento integral das atividades docentes para a realização do Doutorado na UFAL e na UPC.

A Victor Oliveira, por disponibilizar a consulta da maioria das normas técnicas internacionais, normas essas fundamentais para o desenvolvimento da Tese.

Aos companheiros de Doutorado sanduíche, os "*El chegados*" de Barcelona, e em especial ao meu companheiro de moradia em Barcelona, Célio Júnior, amigo e irmão. Além de dedicar carinho diário, ele me ensinou a desenvolver os *Heatmaps* e auxiliou no *script* de simulação.

Às minhas amigas Camila Casados, Miquelina Cavalcante, Tharcila Leão, pelo apoio dado em todas as etapas deste trabalho. Juntas superamos os desafios das nossas teses.

À minha irmã Maira e toda a minha família, que juntos torceram por mim e ajudaram-me nos vários momentos decisivos de desenvolvimento deste trabalho.

E, finalmente, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta Tese: professores, colegas de disciplinas cursadas, colegas de trabalho, pessoas queridas do DEHA/UFAL, ETSAB e IFBA.

Lâmpada para os meus pés é tua palavra,
e luz para o meu caminho.
(Salmos 119:105)

RESUMO

A utilização de indicadores para a avaliação de desempenho dos sistemas artificiais de iluminação no ambiente construído vem sendo discutida em vários países. No entanto, poucas são as ferramentas que permitem conciliar, durante a elaboração de projetos de iluminação artificial, o desempenho energético com aspectos quantitativos e qualitativos. Uma das formas para avaliar o grau de eficiência da iluminação considera o uso de Indicadores de Desempenho, a partir de valores referenciais que balizam as decisões projetuais. Esses indicadores partem do conceito de *Benchmarking* como referência para novos projetos. O objetivo desta tese é desenvolver um conjunto de procedimentos para a avaliação do desempenho da iluminação artificial que atendam, de forma integrada, às demandas de conforto visual e assegurem um adequado desempenho energético, agregando, assim, esses dois aspectos envolvidos na qualidade do projeto luminotécnico. A metodologia adotada consiste numa análise comparativa do desempenho de diferentes sistemas de iluminação artificial em uma sala de estar/jantar típica de residências encontradas no mercado imobiliário do país. Foram realizadas análises paramétricas, com apoio de simulações computacionais, para investigar a influência das principais variáveis do projeto de iluminação no desempenho energético e no conforto visual desses ambientes. Os resultados foram agrupados de acordo com o desempenho alcançado e revelam as variáveis com maior impacto no conforto visual e eficiência energética do ambiente estudado. Revelam, também, um conjunto de indicadores intrinsecamente relacionados, que expressam aspectos fundamentais na iluminação de residências, com base nos critérios de conforto visual e eficiência energética dos sistemas de iluminação artificial. Os indicadores de desempenho da iluminação residencial propostos podem contribuir para o aperfeiçoamento das normas nacionais, com reflexos positivos nas atividades profissionais dos projetistas.

Palavras-Chave: Indicadores de desempenho. Iluminação artificial. Residências.

ABSTRACT

The use of indicators to evaluate the performance of artificial lighting systems in the built environment has been discussed in several countries. Nevertheless, there are not many tools allowing for an integration of quantitative and qualitative aspects of energy efficiency during early stages of the design process. One way to evaluate the efficiency degree of lighting considers the use of Performance Indicator, based on the concept of Benchmarking as a reference value that might guide many design decisions. The aim of this thesis is to develop a set of procedures to evaluate the performance of artificial lighting in residential buildings, concerning the integration of quantitative and qualitative aspects of the lighting design. The evaluation compares results, obtained for a typical living room model, with those prescribed by international standards, focusing on the visual comfort and energy performance. The methodology consists of a comparative analysis of the integrated performance obtained in a typical living room model where different lighting configurations are tested. For that, parametric analyses were carried out, with support of computational simulations, aiming to examine the influence of the main lighting variables regarding the energy performance and visual comfort of these rooms. Results were grouped accordingly to the obtained performance and reveal the most important variables affecting visual comfort and energy efficiency. The proposed residential lighting performance indicators may contribute to the improvement of the national standards with reflexes on the professional activities of lighting designers**.**

Key-Word: Indicators. Artificial lighting. Residences.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do processamento da informação visual 23

Figura 2 - Estudo das preferências em seis diferentes arranjos para uma sala de conferência 24

Figura 3 - Preferência dos profissionais em relação aos diversos programas de iluminação indicados para simulação, visualização e gestão 49

Figura 4 - Itens de configuração dos modelos no DIALux evo 8 51

Figura 5 - Eleição da tipologia residencial e atividades exercidas nos ambientes internos, utilizando os parâmetros descritos pela IES (2011) 52

Figura 6 - Interface de configuração dos materiais e cores no DIALux evo 8 54

Figura 7 - Seleção e edição de sistemas de iluminação 56

Figura 8 - Medição do consumo de energia e custos 57

Figura 9 - Espacialização dos resultados no ambiente virtual do DIALux evo 8 58

Figura 10 - Indicadores de desempenho energético e visual no modelo de simulação 59

Figura 11 - Indicadores de desempenho energético da iluminação artificial disponibilizados na Documentação 60

Figura 12 - Delimitação dos ambientes residenciais e atividades 67

Figura 13 - Ambiente residencial delimitado para estudo – a sala de estar/jantar 69

Figura 14 - Seleção de matérias e cores disponíveis no DIALux evo 8 71

Figura 15 - Forma das luminárias 76

Figura 16 - Disposição das luminárias no ambiente 77

Figura 17 - Organização das luminárias no ambiente 77

Figura 18 - Aplicação da classificação Forma, Disposição e Organização em ambientes residenciais 78

Figura 19 - Locais de montagem das luminárias no teto, na parede e no espaço 79

Figura 20 - Forma, Disposição, Organização no Local de montagem 80

Figura 21 - Parâmetros do modelo base 83

Figura 22 - Composição dos cenários de luz na sala de estar/jantar 84

Figura 23 - Matriz formada pelos cenários com a função de Luz Complementar, utilizando Locais distintos de montagem 85

Figura 24 - Cenários para a Luz Protagonista no teto 86

Figura 25 - Cenários para a Luz Protagonista na parede 86

Figura 26 - Cenários para a Luz Protagonista no espaço 87

Figura 27 - Cenários para a Luz Complementar no teto 88

Figura 28 - Cenários para a Luz Complementar na parede 88

Figura 29 - Cenários para a Luz Complementar no espaço 89

Figura 30 - Cenários para a Luz Suplementar no espaço 89
Figura 31 - Apresentação dos resultados com auxílio do DIALux evo 8 91
Figura 32 - Simbologia que se refere a função, local de montagem e forma da luminária 92
Figura 33 - Paleta de cores (red/green) utilizadas nos modelos em Heatmap 94
Figura 34 - Resultados gráficos utilizando o histograma e Heatmap 95
Figura 35 - Banco de dados da Matriz 1 96
Figura 36 - Resumo dos Heatmaps pelos grupos criados 97
Figura 37 - Arranjos de um mesmo cenário utilizando como princípio a Disposição e a Organização dos sistemas de iluminação no ambiente 99
Figura 38 - Ajustes na modelagem dos cenários pela variação da montagem em um plano vertical da sala de estar/jantar 100
Figura 39 - Resultados dos cenários com a função de Luz Protagonista 102
Figura 40 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 1 103
Figura 41 - Os cenários resultantes da combinação L1, L2 e L3 104
Figura 42 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 2 105
Figura 43 - Histogramas referentes ao Heatmap 2, desagregados pelo Local de montagem . 106
Figura 44 - Os cenários resultantes da combinação L1 e L2 107
Figura 45 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI, descritos no Heatmap 3 108
Figura 46 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 4 108
Figura 47 - Os cenários resultantes da combinação L1 e L3 109
Figura 48 - Os cenários resultantes da combinação L2 e L3 111
Figura 49 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI, descritos no Heatmap 5 112
Figura 50 - Resultados dos cenários em diferentes Locais de montagens da L2 113
Figura 51 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 6 114
Figura 52 - Resultados dos cenários que relacionam a Luz Protagonista na sala de estar/jantar 115
Figura 53 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 7 116
Figura 54 - Histogramas referentes ao Heatmap 7, desagregados pelo Local de montagem 116
Figura 55 - Os cenários de luz em percentuais por segmento 117
Figura 56 - Os cenários de menor e o maior DPI 118
Figura 57 - Os diferentes efeitos produzidos na iluminação em função da variação da Forma 120
Figura 58 - Os diferentes efeitos produzidos na iluminação em função da variação da Disposição e da Organização 122
Figura 59 - Os diferentes efeitos produzidos na iluminação em função da variação do Local de montagem dos sistemas de iluminação 123
Figura 60 - Indicadores residenciais a partir da sala de estar/jantar 124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis que influenciam no conforto visual do usuário no ambiente 25
Quadro 2 - Principais grandezas fotométricas utilizadas para expressar conforto visual e eficiência na iluminação artificial de ambientes. 31
Quadro 3 - Síntese dos principais indicadores presentes nas publicações consultadas 43
Quadro 4 - Indicadores investigados disponíveis nas fases de Simulação e Documentação ... 61
Quadro 5 - Principais requisitos das fontes em LED 74
Quadro 6 - As funções estabelecidas para os cenários de luz 81
Quadro 7 - Tipos de comparação dos cenários de luz 98
Quadro 8 - Recomendações por faixas de DPI 126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais recomendações de Iluminâncias 33
Tabela 2 - Principais recomendações do Guia 9 34
Tabela 3 - Iluminâncias para iluminação artificial das habitações brasileiras 35
Tabela 4 - Ambientes (áreas), tarefas, e atividades com a especificação de iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor 35
Tabela 5 - Iluminâncias mantidas na área do entorno imediato 36
Tabela 6 - Requisitos mínimos para a iluminação segundo a CEN (2011) 37
Tabela 7 - Densidade de potência da iluminação artificial – The Building Area Method 37
Tabela 8 - DPI pelo método Space-by-Space 38
Tabela 9 - Principais requisitos de qualificação para alta eficiência das fontes de luz segundo o item JA8 do Código da Califórnia 39
Tabela 10 - Densidade de potência máxima da iluminação segundo o BCA 39
Tabela 11 - Densidade de potência máxima da iluminação pela iluminância pretendida 40
Tabela 12 - Valor da Eficiência Energética da Instalação de Iluminação (VEEI) de ambientes internos 40
Tabela 13 - DPI máxima instalada das instalações de iluminação pelo uso do edifício 41
Tabela 14 - DPI_L pelo método da área da edificação 42
Tabela 15 - DPI_L pelo método das atividades do edifício 42
Tabela 16 - Síntese dos principais indicadores recomendados para habitações no Brasil 45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCB	*Australian Building Codes Board*
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
BCA	*Building Code of Australia*
BEN	Balanço Energético Nacional
BIEE	Banco de Indicadores de Eficiência Energética
BIM	*Building Information Model* / Modelo da Informação da Construção
CAD	*Computer-Aided Design*
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEC	*California Energy Commission*
CEN	*European Committee for Standardization*
CIE	*International Commission on Illumination*
CLTC	*California Lighting Technology Center*
DB	Documento Básico
DOE	*Department of Energy – USA*
EEA	*European Environment Agency*

Eletrobras	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GBC	*Green Building Council*
HQE	*Haute Qualité Environnementale*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPSA	*International Building Performance Simulation Association*
IES	*Illuminating Engineering Society*
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change* / Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISO	*International Organization for Standardization* / Organização Internacional para Padronização
LAR	Luz (ou Iluminação) Artificial Residencial
LEED	*Leadership in Energy and Environmental Design*
LENI	*Lighting Energy Numeric Indicator*
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDC	*Nationally Determined Contribution* / Contribuição Nacionalmente Determinada
ONU	*United Nations* / Organização das Nações Unidas
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

SLL	*The Society of Light and Lighting*
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UH	Unidades habitacionais autônomas

LISTA DE SÍMBOLOS

3D	Tridimensional
ALAN	*Artificial light at night*
CLA	Luz circadiana
DPI	Densidade de Potência da Iluminação
DPI_L	Densidade de Potência Limite da Iluminação
DPI_R	Densidade de Potência Relativa
E	Iluminância
E_M	Iluminância mantida
E_{med}	Iluminância média
E_{min}	Iluminância mínima
HU	Unidade habitacional autônoma
IRC	Índice Reprodução de Cor
K	Graus Kelvin
LED	*Light Emitting Diode* / Diodo Emissor de Luz
LENI	*Lighting Energy Numeric Indicator*
LPD	*Lighting Power Density*
P	Potência
PD	Pé-direito
R_a	Índice Reprodução de Cor (IRC)
T_{cp}	Temperatura de Cor Correlata

UGR_L	Índice Limite de Ofuscamento Unificado ou Limite
U_o	Uniformidade
VEEI	Valor da Eficiência Energética da Instalação de Iluminação
η	Eficiência Luminosa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18
1.1 Objetivo 20
1.2 Estrutura da Tese 21
2 ILUMINAÇÃO E INDICADORES 23
2.1 A dimensão quantitativa e qualitativa da iluminação 23
2.1.1 A luz circadiana 26
2.1.2 A iluminação, a qualidade da luz e as emoções 27
2.2 Impactos ambientais da iluminação artificial 28
2.3 Análise dos indicadores de desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais 29
2.3.1 Indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais 32
2.3.1.1 Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 34
2.3.1.2 International Organization for Standardization (ISO) 35
2.3.1.3 European Committee for Standardization (CEN) 36
2.3.1.4 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) 37
2.3.1.5 Building Energy Efficiency Standards 38
2.3.1.6 The Building Code of Australia (BCA) 39
2.3.1.7 Documento Básico (DB) 40
2.3.1.8 Indicadores instituídos nas certificações 41
2.3.2 Análise dos indicadores 42
2.3.2.1 Os indicadores da iluminação em residências brasileiras 44
2.3.3 Lacunas e tendências 46
2.3.4 Considerações finais da análise dos indicadores 47
2.4 A simulação computacional e os indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais 48
2.4.1 Os softwares de apoio ao projeto de iluminação 48
2.4.2 O programa DIALux evo como ferramenta de análise de indicadores da iluminação artificial 51
2.4.2.1 Construção 51
2.4.2.2 Características das superfícies: materiais e cores 53
2.4.2.3 Os sistemas de iluminação artificial 55
2.4.2.4 Cenários de luz 56
2.4.2.5 Consumo de energia 57
2.4.2.6 Objetos de cálculo 58
2.4.2.7 Documentação 60
2.4.3 Verificação dos indicadores da iluminação artificial 60
2.4.4 Discussões do uso do software em análises de desempenho 61
2.4.4.1 As métricas determinadas no software 62
2.4.4.2 A interface gráfica relativa às análises energéticas 63
2.4.4.3 Lacunas e tendências 63
2.4.5 Considerações finais a respeito dos indicadores e *o DILux evo 8* 64

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 66
3.1 Configuração dos parâmetros de análise 66
3.1.1 Ambientes residenciais 66
3.1.1.1 Tipo de ambiente e atividade exercida 67
3.1.1.2 Forma 68
3.1.2 A refletância das superfícies: materiais e cores 69
3.1.2.1 As refletâncias no modelo virtual 70
3.1.3 Fatores humanos 71
3.1.3.1 A saúde em ambientes residenciais 72
3.1.3.2 As iluminâncias requeridas 72
3.1.4 Sistemas de iluminação 73
3.1.4.1 Requisitos das fontes de luz 73
3.1.4.2 Requisitos dos sistemas de iluminação e a sua disposição no espaço 74
3.1.4.2.1 Forma, Disposição, Organização e Local de montagem dos sistemas de iluminação 75
3.1.4.2.2 Sistemas de iluminação não visíveis ou sancas 80
3.1.4.3 Seleção dos sistemas de iluminação 80
3.1.4.4 Cenários de luz 81
3.2 Análise paramétrica dos cenários investigados 82
3.2.1 A matriz com ênfase nos cenários de luz 83
3.2.2 Grupos formados com a luz atuando de forma Protagonista na sala de estar/jantar 85
3.2.3 Grupos formados com a luz atuando de forma Complementar na sala de estar/jantar 87
3.2.4 Grupos Formados com a luz atuando de forma Suplementar na sala de estar/jantar 89
3.3 As análises de desempenho integrando as simulações 90
3.3.1 Desempenho do conforto visual no ambiente 90
3.3.2 Desempenho energético 91
3.3.2.1 Identificação dos modelos simulados 92
3.4 Representação gráfica dos resultados 93
3.5 Comparação dos cenários 97
3.6 Ajustes na distribuição dos sistemas de luz nos cenários 98
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 101
4.1 Desempenho energético dos cenários de luz desagregados pelos grupos criados e pelo local de montagem 101
4.1.1 Heatmap 1: DPI dos cenários com a função de Luz Protagonista 101
4.1.2 Heatmap 2: DPI dos cenários combinando com a Luz Protagonista, a Luz Complementar e a Luz Suplementar 103
4.1.3 Heatmaps 3 e 4: DPI dos cenários combinando a Luz Protagonista com a Luz Complementar e a Luz Protagonista com a Luz Suplementar 106
4.1.3.1 Heatmap 3: Luz Protagonista e Luz Complementar 106
4.1.3.2 Heatmap 4: Luz Protagonista e Luz Suplementar 108
4.1.4 Heatmaps 5 e 6: DPI dos cenários especiais 110
4.1.4.1 Heatmap 5: DPI dos cenários da Luz Complementar e da Luz Suplementar 110
4.1.4.2 Heatmap 6: DPI dos cenários da Luz Complementar utilizando locais de montagem distintos 112

4.1.5 Heatmap 7: O agrupamento dos cenários que se relacionam com a Luz Protagonista 114
4.1.6 DPI das matrizes em percentuais por segmento 117
4.2 Comparação dos cenários 117
4.2.1 Cenários com menor e maior desempenho energético em DPI 118
4.2.2 Forma, Disposição, Organização e Local de montagem dos sistemas de iluminação no espaço 119
4.2.2.1 A variação da Forma dos sistemas de iluminação 119
4.2.2.2 A variação da Disposição e a Organização 121
4.2.2.3 A variação do Local de montagem 123
4.3 Indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais 124
5 CONCLUSÕES 128
REFERÊNCIAS 132
GLOSSÁRIO 141
ANEXOS 145
Anexo A - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Protagonista no teto 146
Anexo B - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Protagonista na parede 151
Anexo C - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Protagonista no espaço 154
Anexo D - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Complementar no teto 157
Anexo E - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Complementar na parede 160
Anexo F - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Complementar no espaço 163
Anexo G - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Suplementar 166
Anexo H - Matriz de simulação 169
Anexo H1 - Banco de Dados da Matriz 1 170
Anexo H2 - Banco de Dados da Matriz 2 172
Anexo H3 - Banco de Dados da Matriz 3 174
Anexo H4 - Banco de Dados da Matriz 4 176
Anexo H5 - Banco de Dados da Matriz 5 178
Anexo H6 - Banco de Dados da Matriz 6 180
Anexo H7 - Banco de Dados dos Cenários Especiais 182

1 INTRODUÇÃO

A iluminação artificial nas residências há muito deixou de ser um componente da arquitetura meramente funcional ou ornamental, destinado a propiciar luz nos ambientes para o atendimento das atividades humanas, incluindo o período noturno nas horas úteis de utilização dos espaços arquitetônicos.

Neste trabalho, a iluminação artificial é entendida como uma linguagem de expressão arquitetônica, uma variável fundamental, que aqui assume o papel de protagonista no âmbito das discussões das áreas de Tecnologia e Projeto em Arquitetura. Isso se deve aos efeitos por ela produzidos nos diversos ambientes, que afetam o conforto visual do usuário, sem desconsiderar as demandas energéticas provenientes dos sistemas de iluminação.

O desempenho energético dos sistemas de iluminação no ambiente será priorizado, uma vez que este trabalho pretende apontar caminhos que levem à sua integração nos processos de decisões projetuais, principalmente no que tange ao setor residencial.

O projeto de Iluminação (ou Luz) Artificial em Ambientes Residenciais, aqui identificada pela sigla LAR, demanda níveis aceitáveis de desempenho energético. Porém, alcançá-los não é o suficiente, em virtude de desafios ambientais tais como a ecoeficiência que os sistemas precisam vencer ao longo do caminho que os leva à sustentabilidade.

A iluminação no ambiente construído é constantemente apontada, nos momentos de crise energética, como ineficiente (ROMERO; REIS, 2012). As construções foram responsáveis por 32% de toda a energia elétrica final consumida no país em 2010. Por sua vez, a iluminação representa uma parcela de aproximadamente 14% do consumo das residências. Esse consumo está relacionado, entre outros fatores, ao desperdício em decorrência do uso inadequado da iluminação artificial (IPCC, 2015; CBIC, 2017).

O relatório da Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2017a) apresenta anualmente a projeção da demanda de energia elétrica. O documento demonstra que as crises política e econômica vivenciadas no Brasil nos últimos anos foram responsáveis pela queda do consumo de energia nos setores comercial e industrial, com decréscimos de 3,0% e 2,5%, respectivamente, em 2015 e 2016. No entanto, o setor residencial apresentou crescimento de 1,2% no consumo de energia, com tendência de aumentar esse percentual. Para o período de 2017 a 2021, a projeção do consumo de energia elétrica na rede é de um crescimento da ordem dos 3,8% (EPE, 2017b).

Quando se analisa a oferta e o consumo de energia elétrica, verifica-se a necessidade de critérios objetivos para a boa utilização desse recurso no ambiente construído (FEDRIGO; GHISI; LAMBERTS, 2009). A otimização do uso devido a ações de eficiência energética tem papel importante no atendimento à demanda futura de energia.

Com o recente Acordo de Paris (BRASIL, 2016) em vigência desde 4 de novembro de 2016, tornaram-se oficiais a "Contribuição Nacionalmente Determinada" – NDC, que têm como objetivo reduzir os impactos sobre a eventual mudança do clima global. A NDC apresenta um conjunto de ações que incluem metas voltadas ao uso de fontes renováveis de energia e aumento de ganhos de eficiência no setor elétrico (CBIC, 2017, p. 38).

O Acordo de Paris (BRASIL, 2016) ratifica a abordagem da energia em âmbito internacional, incluindo suas relações com aspectos fundamentais da sustentabilidade. "Esse tema torna-se crucial e prioritário entre os grandes debates em andamento em todo o mundo" (ROMERO; REIS, 2012, p. 12).

No que se refere à eficiência energética, o Brasil se comprometeu a alcançar 10% de ganhos no setor elétrico até 2030. Para tanto, a NDC recomenda que sejam implementadas ações que não apenas melhorem a eficiência dos equipamentos instalados, mas que busquem também melhorias nos hábitos de consumo de eletricidade. O maior potencial de conservação apontado está no uso final de força motriz (37% do total), seguido de iluminação (com 36%) (CBIC, 2017).

O Documento Referencial recomenda ainda que, "para avaliar se o país está no caminho certo para atingir as metas definidas na NDC, é necessário monitorar a *performance* do setor elétrico a partir de indicadores" (BRASIL, 2016, p. 122). Deve-se, portanto, observar o monitoramento do progresso obtido com o uso de Indicadores de Eficiência Energética em diversos setores, retroalimentando inclusive a análise de impacto de políticas voltadas à Eficiência Energética. Para isso, sugere a alimentação do Banco de Indicadores de Eficiência Energética (BIEE).

As diretrizes apresentadas na NDC encontram-se em consonância com uma série de ações anteriormente instituídas pelo Ministério das Minas e Energia em prol da conservação de energia, atribuídas principalmente ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL. Entre elas destaca-se não apenas a certificação de equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes (incluindo os destinados à iluminação), mas também, recentemente, a etiquetagem de edificações (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).

O Comitê de Energia do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2013) considera os *Benchmarks* e etiquetas prediais como ferramentas eficazes para a redução de consumo de energia no ambiente construído e ressalta a necessidade de se poder contar com indicadores simples e confiáveis de desempenho e sustentabilidade.

A etiquetagem de edifícios proposta pelo PROCEL (ELETROBRAS; UFSC, 2014) pode ser considerada o marco de uma nova forma de pensar as residências brasileiras. As métricas concernentes ao desempenho energético estão sendo introduzidas na prática projetual. Porém, faltam informações de desempenho de edificações que possam se tornar referenciais de comparação para as demais construções aplicadas à realidade brasileira (CBCS, 2013).

Diante dos aspectos acima abordados, este trabalho pretende contribuir para os campos disciplinares da Tecnologia e do Projeto da Arquitetura no que se refere à iluminação artificial de ambientes residenciais. O desenvolvimento de indicadores de desempenho da iluminação artificial residencial oferece uma importante ferramenta de projeto de arquitetura, de avaliação pós-ocupação, de planejamento energético e urbano, pois permite balizar decisões do ponto de vista da eficiência energética dos sistemas de iluminação e do conforto do usuário. Tais soluções têm papel importante no atendimento à demanda futura por energia elétrica e no bem-estar da sociedade brasileira, considerando o melhor uso desse recurso nos ambientes residenciais.

A presente tese considera necessária a utilização de indicadores da iluminação artificial que expressem o desempenho integrado do conforto visual e da eficiência dos sistemas de iluminação em ambientes residenciais, a exemplo do que ocorre com as demais tipologias construtivas.

1.1 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um conjunto de procedimentos para a avaliação do desempenho da Iluminação Artificial, por meio de métricas que atendam às recomendações do conforto visual nos ambientes e assegurem um adequado desempenho energético dos sistemas de iluminação artificial, integrando, assim, esses dois aspectos envolvidos no projeto luminotécnico.

Constituem os objetivos específicos:

- Definir indicadores para projetos de iluminação artificial que integrem conforto visual e eficiência energética em ambientes residenciais;

- Demonstrar a necessidade de adequação da legislação existente para que ela se torne referencial de projetos de iluminação artificial residencial, integrando os aspectos anteriormente abordados;
- Propor instrumentos que expressem de forma gráfica os indicadores anteriormente mencionados.

1.2 Estrutura da Tese

Para atingir os objetivos estabelecidos, este trabalho está estruturado em cinco capítulos, incluindo a introdução, que descreve a contextualização do problema de pesquisa e sua relevância para a área de conhecimento estudada.

O capítulo 2, intitulado "Iluminação e Indicadores", introduz a temática envolvida na elaboração do projeto de iluminação no que se refere aos aspectos quantitativos. Esse capítulo apresenta uma parte dedicada à revisão da literatura dos Indicadores da Iluminação Artificial Residencial, com ênfase nos manuais, normas e códigos nacionais e internacionais como as principais fontes que abordam essa temática.

Em seguida, aborda os desafios envolvidos no projeto de iluminação, particularmente aqueles com auxílio do computador. Busca-se relacionar os temas apresentados anteriormente, tais como os parâmetros considerados no projeto e sua relação com os indicadores da iluminação no ambiente virtual, identificando em qual momento da modelagem eles são enfocados.

Uma vez apresentada a fundamentação teórica, o capítulo 3 consiste na descrição dos procedimentos metodológicos propostos, baseados em análises paramétricas com auxílio de simulações computacionais.

O capítulo 4 discute os indicadores da iluminação artificial recomendados pela tese, com base em critérios de conforto visual, saúde e eficiência dos sistemas de iluminação em ambientes residenciais. Os resultados são apresentados em forma de imagens virtuais, nas quais se percebe o efeito luminotécnico no ambiente examinado. Apresenta-se ainda o mapeamento das diferentes Densidades de Potência da Iluminação – DPI na forma de mapas de calor, bem como o agrupamento das diferentes DPIs na forma de histogramas.

No quinto e último capítulo são elaboradas considerações gerais em relação ao trabalho realizado, recapitulando os objetivos propostos, a metodologia adotada e os resultados obtidos, que confirmam a necessidade de integração dos indicadores de conforto visual e eficiência

energética na etapa de projeto, por intermédio das normas e regulamentos pertinentes a essa temática, que por sua vez deveriam ser revisados, considerando a integração desses aspectos.

Foi incluído um glossário de termos técnicos, com sugestões para o leitor que aprecia revisar as definições vigentes na literatura técnica brasileira adotadas por esta tese. Também foram acrescentados anexos, que contêm informações adicionais às apresentadas no corpo do texto. Nos Anexos de A a G são agrupados os resumos dos cenários luminotécnicos avaliados nas simulações computacionais. Esses cenários compõem a matriz de simulação (Anexos H) e o banco de dados contendo os resultados em DPI dos cenários simulados.

2 ILUMINAÇÃO E INDICADORES

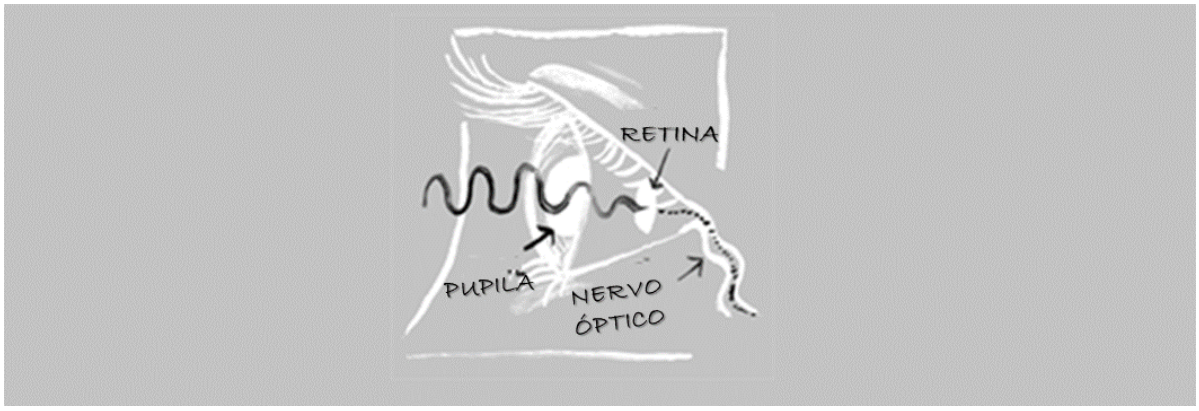
A afirmativa “iluminação artificial é arquitetura” vem sendo defendida por profissionais que apreciam e utilizam esses sistemas artificiais de iluminação como algo indissociável, integrado e particular do projeto de arquitetura, capaz de transmitir ideias e valorizar formas do universo arquitetônico (FOLGUERA CAVEDA; MUROS ALCOJOR, 2013; KELLY, 1952; LAM, 1977; MILLET, 1996). Nesse sentido, a luz artificial deixou de representar um aspecto meramente funcional e assumiu um papel fundamental como elemento da linguagem arquitetônica – inclusive com aplicações em diferentes campos, como arte, *design* de luminárias e outras –, abrangendo o lado conceitual da luz, a exemplo da luz contemplativa, da luz teatral, da luz simbólica e da luz divina (MILLET, 1996).

A percepção do potencial da luz como elemento que estimula os sentidos dos usuários motivou a busca por um aprimoramento do projeto de iluminação (MARTAU; KUBASKI, 2012), apoiada em diferentes formas de abordagem, que podem ser relacionadas a aspectos quantitativos ou qualitativos da iluminação.

2.1 A dimensão quantitativa e qualitativa da iluminação

A luz é um dos componentes do ambiente habitado que contribui para a percepção visual e o desempenho visual nas atividades diárias do ser humano. No mecanismo da fisiologia da visão humana, a luz entra no olho através da pupila, é focada na retina e transmitida para o cérebro através do nervo óptico (Figura 1). Uma parte significativa do nosso cérebro é dedicada ao processamento da informação visual e da emoção (IES, 2011).

Figura 1 - Esquema do processamento da informação visual

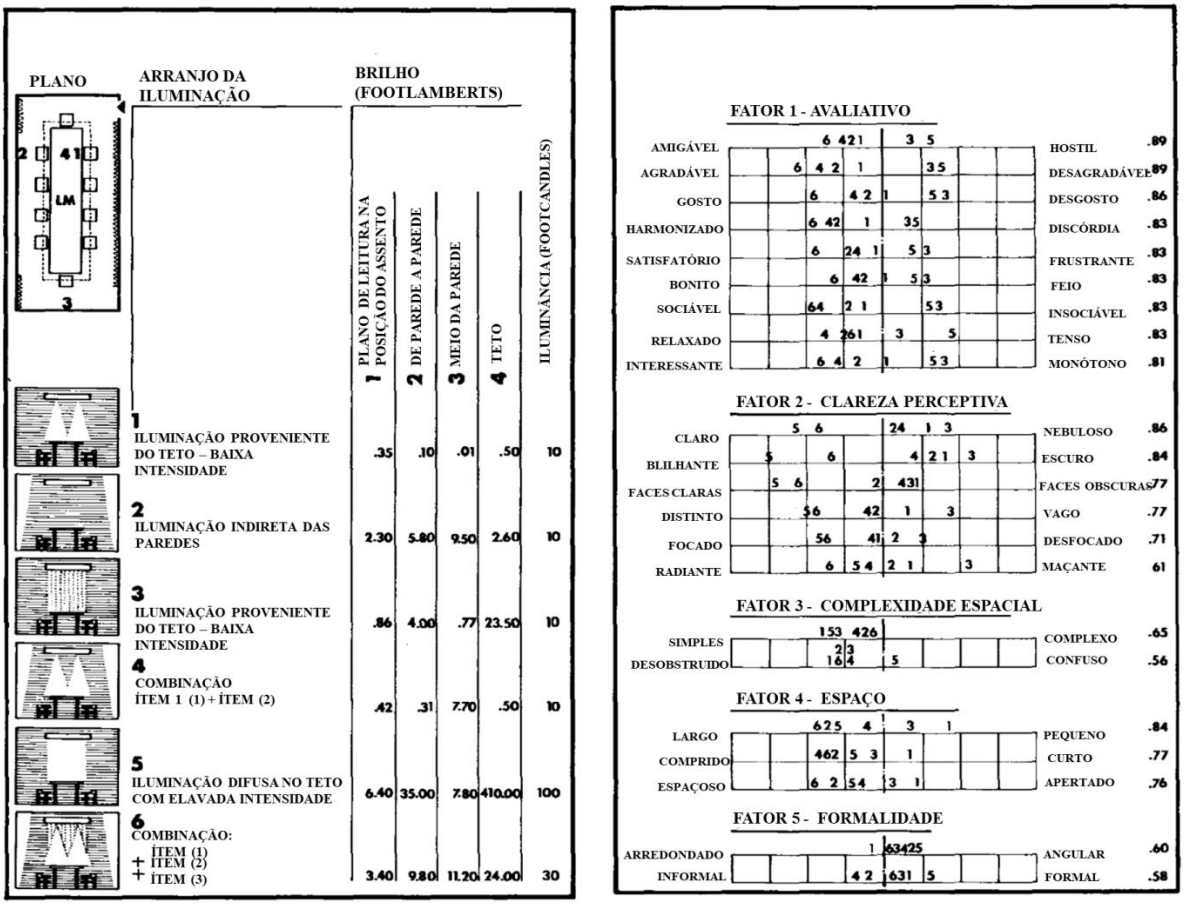


Fonte: Autora, 2018. Adaptado de IES, 2015.

Os fatores humanos referem-se aos estímulos ambientais, ou seja, às respostas emocionais e fisiológicas das pessoas que ocupam um determinado espaço provido de luz (IES, 2011). Essas respostas, muitas vezes, podem determinar aspectos que são comuns a todos os observadores; porém, algumas particularidades afetam a percepção de cada indivíduo.

As respostas emocionais determinadas pela luz em ambientes habitados vêm sendo estudadas por muitos autores. As primeiras metodologias dedicadas a medir as impressões subjetivas em iluminação foram apresentadas a partir da década de 60 (FLYNN *et al*., 1973, 1979; GUTH; MCNELIS, 1968). Elas buscaram compreender as preferências, impressões e o comportamento do usuário em relação ao efeito da luz (Figura 2).

Figura 2 - Estudo das preferências em seis diferentes arranjos para uma sala de conferência



Fonte: Autora, 2018 – Adaptado de Flynn *et al*., 1973.

A quantificação da luz em relação ao espaço e à atividade foi logo ampliada, inserindo aspectos relacionados à percepção do observador no espaço. Richard Kelly (1952) foi precursor

ao defender três funções básicas da iluminação segundo seu papel na arquitetura: luz para valorizar, para comunicar e para emocionar (PETTY, 2007).

Os aspectos qualitativos da iluminação foram ampliados por Lam (1977), que introduziu a psicologia perceptiva e uma série de requisitos a serem considerados na iluminação arquitetônica, tais como requisitos quantitativos e qualitativos para o desenvolvimento das atividades no ambiente, e requisitos visuais do entorno, no qual contempla necessidades psicológicas relacionadas à segurança e à orientação no espaço. Nesse critério, são elencadas necessidades relacionadas à atividade e a aspectos fisiológicos do usuário.

Os requisitos introduzidos por Kelly (1952) e Lam (1977) ampliaram a atuação da iluminação arquitetônica no que se refere ao valor estético da iluminação e na relação formal entre luz e espaço. Hoje, os aspectos quantitativos e qualitativos da luz tornaram-se indissociáveis. As preferências foram medidas, valoradas e aplicadas. O aspecto quantitativo, ponderado por critérios psicológicos dos usuários por meio do conforto visual (Quadro 1), consiste nos fatores humanos presentes na iluminação arquitetônica.

Quadro 1 - Variáveis que influenciam no conforto visual do usuário no ambiente

Acuidade visual	A acuidade visual é a capacidade de discriminar os menores detalhes de objetos muito próximos. Depende principalmente do nível de iluminação e pode variar de acordo com a iluminação múltipla, fatores psicológicos e fisiológicos, tais como iluminação do ambiente, cores, estado mental, idade etc. A capacidade de modificar ou adaptar-se ao diâmetro da íris de acordo com a luminância recebida pode regular a intensidade da função de resposta da magnitude do estímulo. A íris altera o diâmetro da abertura ocular (pupila), dependendo do brilho (luminância).
Acomodação visual	Capacidade para ajustar automaticamente a distância focal quando os objetos a diferentes distâncias são considerados. Isso ocorre ao variar a curvatura da lente, que pode colocar o objeto observado diretamente na retina.
Sensibilidade ao contraste	Capacidade que permite as diferenças de percepção no campo visual. O contraste de iluminância e luminância é necessário para a qualidade perceptual, porém pode produzir desconforto e dificuldades de percepção.

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Folguera Caveda; Muros Alcojor, 2013.

As relações existentes entre a luz no ambiente e os fatores humanos discutidas neste capítulo favoreceram o desejo de medir tal fenômeno: “Os efeitos biológicos da iluminação dependem da quantidade de luz, distribuição espectral e espacial. Para a quantificação desses efeitos, todos esses parâmetros devem ser medidos” (DIAS *et al.,* 2015, p. 221).

Estudos têm sido publicados e revisados periodicamente a respeito de valores referenciais da boa iluminação para ambientes laborais (IES, 2011; SSL, 2009), trazendo requisitos que consideram as necessidades dos ocupantes, capacidades visuais e físicas, idade e estilo de vida (IES, 2011). Muitos deles passaram a fazer parte das principais normas técnicas e códigos que regem o ambiente habitado. Esses valores referenciais serão apresentados no item 2.3, nas análises dos indicadores de conforto visual.

A partir desses estudos, novos desafios da relação existente entre os fatores humanos e a luz no ambiente habitado vêm sendo efetuados. Entre eles podem ser elencados aspectos referentes à exposição à luz circadiana, às atividades domésticas, ao efeito das emoções e à qualidade das fontes de luz iluminação. Tais questões serão comentadas a seguir.

2.1.1 A luz circadiana

Para entender melhor como a iluminação afeta a saúde humana, bem como as respostas por parte dos sistemas visuais, atualmente os estudos buscam demonstrar a necessidade de se considerar a exposição à radiação óptica circadiana. Esse aspecto da luz tornou-se uma preocupação multidisciplinar denominada *artificial light at night* – ALAN (GASTON; VISSER; HÖLKER, 2015). Isso porque a ruptura da circadiana pela luz irregular pode estar associada, por exemplo, a determinados comportamentos, assim como a doenças cardiovasculares, obesidade e diabetes (FIGUEIRO, 2013; FIGUEIRO; PLITNICK; REA, 2014; REA; FIGUEIRO, 2016; REA *et al*., 2010; VAN HOOF *et al*., 2009).

Duffy e Czeisler (2009) definem o ritmo circadiano como as variações na fisiologia e no comportamento que persistem em um ciclo fechado de 24 horas. Nesse sentido, “a luz possui um efeito neuroendócrino e neurocomportamental mensurável sobre o corpo humano, principalmente para garantir um ciclo de sono/vigília saudável e para a manutenção do ciclo atividade/descanso” (DIAS *et al.,* 2015).

A discussão sobre a luz circadiana baseia-se nas respostas por parte dos sistemas visuais à radiação óptica, bem como dos seus efeitos sobre a supressão de melatonina noturna. Os cientistas identificaram um novo fotorreceptor no olho e estabeleceram a sensibilidade espectral

do sistema circadiano humano. Dessa maneira, demonstraram que a luz branca de até 200 lux, bem como exposições irregulares de padrões claros/escuros, interrompe a produção de melatonina durante a noite (FIGUEIRO, 2013). Por outro lado, as "temperaturas de cor mais baixas são menos supressoras da melatonina que as altas, isto é, têm menores efeitos cronobiológicos" (MARTAU, 2009 *apud* REA, 2006).

Alguns caminhos são apresentados. "A compreensão da gravidade genuína do problema é desafiadora e oportuna: com a grande e rápida introdução de luzes LED e o uso de 'iluminação inteligente', agora temos a oportunidade de ajustar a ALAN para reduzir os impactos ambientais negativos" (GASTON; VISSER; HÖLKER, 2015).

Porém, o estudo dos fatores humanos continua gerando vários questionamentos, entre eles: "Se a luz é um mecanismo-chave para sincronizar o ritmo biológico, que outros efeitos ela poderia ter sobre a saúde, produtividade, humor e níveis de energia?" (DIAS *et al*., 2015, p. 213). Para Rea e Figueiro (2016), parece apropriado começar a desenvolver métricas que possam ser usadas no projeto de iluminação para caracterizar a luz e como isso pode afetar as saídas do sistema circadiano.

Os americanos Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash e Michael W. Young foram premiados recentemente pela descoberta de mecanismos moleculares que controlam o ritmo circadiano (NOBEL PRIZE, 2017). Os estudos avançam e a área científica de iluminação aguarda uma mudança na forma de pensar a iluminação, levando em consideração os fatores humanos oriundos do sistema visual circadiano e da radiação óptica. No item 2.3 serão apresentadas as medidas já adotadas pelo estado da Califórnia – EUA (CEC, 2017), precursor ao introduzir na LAR padrões que contribuem para a saúde em residências.

2.1.2 A iluminação, a qualidade da luz e as emoções

Somando-se às questões da saúde em residências, tema abordado no item anterior, outro aspecto relacionado aos fatores humanos está relacionado com mensurar a emoção do usuário em ambientes. Isso diz respeito à variação na distribuição das iluminâncias, variações no IRC e a exposição a diferentes cores produzidas pela luz (CHOI; LEE; SUK, 2016; FLYNN *et al*., 1979; KIM; CHOI; SUNG, 2017; KIM; WOO; KIM, 2013; KNEZ, 1995; LOE, 2016).

Para Papamichael e outros (2016), os ambientes que apresentam elevados valores de IRC permitem uma melhor visão sem exigir elevadas potências de luz. Ou seja, a renderização

de cores mais elevadas produz uma luz que funciona melhor para as pessoas e, portanto, menos lúmens são necessários para atingir a mesma qualidade visual.

Já Choi, Lee e Suk (2016) dedicaram-se a avaliar as respostas afetivas dos usuários e preferências para a iluminação colorida, assim como para obter configurações de iluminação ótima para espaços residenciais. Isso foi possível porque as fontes coloridas tornaram-se disponíveis para uso em residências por meio da tecnologia de LEDs RGB, o que favoreceu configurações de iluminação adequadas às atividades que evocam o estado emocional desejado.

Entender os padrões de iluminação requer uma compreensão da dinâmica das práticas domésticas e como elas se desenvolvem em diferentes espaços (MONREAL; MCMEEKIN; SOUTHERTON, 2016). Para traçar um diagnóstico mais amplo da qualidade de iluminação no ambiente, é preciso correlacionar os aspectos fisiológicos e psicológicos aos aspectos quantitativos da luz que atinge o olho humano durante o exercício diário (DIAS *et al*., 2015; LOE, 2016).

O estudo da qualidade da luz busca demonstrar que a iluminação de baixo consumo energético e a iluminação de boa qualidade podem ser compatíveis. À medida que essa e outras tecnologias de iluminação evoluem, é preciso sempre avaliar como manter o equilíbrio entre a eficiência energética e um ambiente visual de boa qualidade (DUPUY; GUARNACCIA; NOELL-WAGGONER, 2013).

Alguns fatores humanos, aqui entendidos como respostas aos estímulos ambientais proporcionados pela luz, foram associados às grandezas e às unidades luminosas da fotometria por pesquisadores dedicados aos estudos da iluminação. Os resultados dessa relação (estímulos *versus* grandezas) são valores estabelecidos como referenciais que auxiliam o projetista a relacionar as preferências humanas e as grandezas luminotécnicas de modo a atender às exigências humanas e funcionais. Tais aspectos serão abordados nos itens a seguir.

2.2 Impactos ambientais da iluminação artificial

A Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada no ano de 1972 em Estocolmo (ONU, 1972), marca o final do século XX com o compromisso com as questões ambientais no planeta. Já a Conferência Mundial do Meio Ambiente no Rio de Janeiro – Eco 92 (ONU, 1992) define o desenvolvimento sustentável como o modelo a ser seguido mundialmente.

Esta demanda consta objetivamente na AGENDA 21 (ONU, 1992), formulada internacionalmente para ser adotada por organizações, pelos governos e pela sociedade civil em escala global, abrangendo as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente. O plano de ação determina que os países devem desenvolver sistemas de acompanhamento e avaliação dos avanços em relação ao desenvolvimento sustentável, por meio do uso de indicadores que meçam as mudanças nas dimensões econômica, social e ambiental.

Os marcos apresentados nos parágrafos anteriores inauguram uma nova forma de pensar, trazida pela consciência de que o uso dos recursos naturais deve considerar as gerações futuras (ONU, 1992). Isso repercute diretamente na iluminação artificial, que por muito tempo teve seus índices de eficiência aferidos de maneira quantitativa. A partir da visão de sustentabilidade, demonstra-se a necessidade de acrescentar requisitos ambientais a essas medições.

Assim, o efeito da iluminação no ambiente passa a ser regido por critérios relacionados ao desempenho energético e visual desses sistemas. Tais aspectos foram examinados nas principais publicações nacionais e internacionais, e posteriormente incorporados como critérios de desempenho da iluminação artificial em projetos arquitetônicos.

2.3 Análise dos indicadores de desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais[1]

O uso de indicadores de desempenho da iluminação artificial aplicados ao projeto de arquitetura vem sendo gradativamente incorporado pelos projetistas. No entanto, poucos permitem conciliar aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação nos ambientes habitados.

A eficiência dos sistemas de iluminação artificial pode ser avaliada pelo uso de indicadores de desempenho. Esses indicadores são entendidos como valores referenciais que auxiliam o projetista em relação ao desempenho da iluminação que se deseja obter. “O indicador é uma medida, geralmente quantitativa, usado para ilustrar e comunicar fenômenos complexos de forma simples, incluindo as tendências e os progressos ao longo do tempo” (EEA, 2005, p. 7).

O uso de indicadores geralmente é associado aos *benchmarks*, processo sistemático de medir o desempenho e comparar com outros considerados como boas práticas. “Um *benchmark*

[1] Publicado na Revista PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção (MORAES; MUROS ALCOJOR; BITTENCOURT, 2018). Texto apresentado com adaptações.

é uma linha de base ou ponto de referência, que pode ser utilizado para avaliar o desempenho de coisas do mesmo tipo" (BORGSTEIN; LAMBERTS, 2014, p. 3).

O Comitê de Energia do Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2013) considera os *benchmarks* como instrumentos eficazes para a redução de consumo de energia no ambiente habitado e ressalta a necessidade de indicadores simples e confiáveis de desempenho e de sustentabilidade. Porém, alerta que faltam informações de desempenho de edificações que possam se tornar referenciais para a comparação com as demais construções, considerando a realidade brasileira.

O projeto de iluminação, enquanto processo dinâmico, necessita de um conjunto de informações específicas que melhor expressem o desempenho dos sistemas de iluminação. Ao comparar seu próprio desempenho com o desempenho de um referencial estabelecido, os gerentes ou proprietários de um edifício, por exemplo, podem rapidamente estimar o seu desempenho (CBCS, 2013).

Na iluminação de residências brasileiras, que indicadores serão tomados como referenciais para testar e avaliar a pertinência de decisões projetuais? A edificação atenderá a valores mínimos ou se esforçará para superá-los? (GRONDZIK; KWOK, 2013, p. 12).

Este item tem como escopo realizar uma pesquisa documental incluindo normas atuais que abordam a questão dos indicadores de desempenho visual e eficiência da iluminação artificial em ambientes residenciais, de forma a identificar eventuais lacunas do conhecimento nesses documentos. Pretende, ainda, apresentar contribuições para o aperfeiçoamento das normas nacionais e para o projeto dos sistemas de iluminação artificial residencial.

Para alcançar a investigação acima delineada, foram examinadas as principais publicações nacionais e internacionais contendo indicadores de desempenho da iluminação artificial em projetos arquitetônicos.

O processo de pesquisa documental apontou para os manuais, as normas e os códigos como as principais fontes que abordam essa temática por: (i) associações internacionais dedicadas ao estudo e divulgação da iluminação que possuem um comitê internacional com abrangência mundial; (ii) normas e regulamentos de instituições nacionais; (iii) importantes publicações internacionais sobre o tema, oriundas de países com representantes nos comitês internacionais de padronização. Além dessas, foram incluídas normas ou códigos edílicos de países com destaque no cenário internacional, tais como observados na Austrália, Espanha e Estados Unidos, particularmente as normas adotadas pelo estado da Califórnia.

Os indicadores da iluminação foram reunidos em dois grupos: os que apresentam sugestões relativas ao conforto visual e aqueles que contêm recomendações referentes à eficiência energética dos sistemas de iluminação em ambientes. A reunião documental por grupos auxiliou na análise comparativa das semelhanças e diferenças mais significativas entre os diversos indicadores examinados, considerando as especificidades das atividades exercidas em ambientes residenciais.

Os indicadores concernentes ao conforto visual expressam condições favoráveis ao desempenho das atividades realizadas em ambientes residenciais. Já a eficiência energética é resultado de dois aspectos complementares: o primeiro refere-se ao desempenho dos equipamentos instalados (lâmpadas, luminárias e complementos); o segundo depende das características do ambiente construído (forma, dimensões, acabamento das superfícies internas, tipologia das aberturas) e de aspectos comportamentais dos seus usuários (Quadro 2).

Quadro 2 - Principais grandezas fotométricas utilizadas para expressar conforto visual e eficiência na iluminação artificial de ambientes.

(continua)

Grandezas fotométricas		Símbolo	Unidade	Algoritmo	Definição
Conforto visual	Iluminância mantida	E_M	lux	$\mathbf{E_M = \frac{\Phi}{A}}$	Valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida (ABNT, 2013b).
	Uniformidade	U_o	–	$\mathbf{U_o = \frac{E_{min}}{E_{med}}}$	Razão entre o valor da iluminância mínima (E_{min}) e a média (E_{med}) (ABNT, 2013b).
	Índice Limite de Ofuscamento Unificado	UGR_L	–	$\mathbf{UGR_L = 8log\left(\frac{0,25}{L_b}.\sum\frac{L^2.\omega}{p^2}\right)}$	Valor máximo permitido do nível de ofuscamento unificado de um projeto para uma instalação de iluminação. Ver detalhamento do índice na norma (ABNT, 2013b).
	Índice Reprodução de Cor (IRC)	R_a	–	–	Valor percentual que fornece uma indicação objetiva das propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz (ABNT, 2013b).
	Temperatura de Cor Correlata	T_{cp}	Kelvin (K)	–	Refere-se à cor aparente (cromaticidade da lâmpada) da luz que ela emite. É dividida em 3 faixas: Quente – abaixo de 3.300K; Intermediária – entre 3.300K e 5.300K; Fria – acima de 5.300K (ABNT, 2013b).

Quadro 2 - Principais grandezas fotométricas utilizadas para expressar conforto visual e eficiência na iluminação artificial de ambientes.

(conclusão)

Grandezas fotométricas		Símbolo	Unidade	Algoritmo	Definição
Eficiência energética	Eficiência Luminosa	H	lm/W	$\boldsymbol{\eta = \frac{\Phi}{P}}$	Quociente entre fluxo luminoso emitido (ϕ), em lúmens, pela potência consumida, em Watts. (ELETROBRAS; UFSC, 2014).
	Densidade de Potência da Iluminação	DPI	W/m^2	$\boldsymbol{DPI = \frac{P}{A}}$	Razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente (ELETROBRAS; UFSC, 2014).
	Densidade de Potência Limite da Iluminação	DPI_L	W/m^2	$\boldsymbol{DPI_L = \frac{P}{A}}$	Razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente, relação essa considerada eficiente, pois está diretamente relacionada ao nível de iluminância necessário nos planos de trabalho, a atividade a ser executada em cada ambiente ou edifício (ELETROBRAS; UFSC, 2015).
	Densidade de Potência Relativa	DPI_R	W/m^2 por 100 lux	$\boldsymbol{DPI_R = \frac{DPI}{E_M/100}}$	Densidade de potência total instalada para cada 100 lux de iluminância (ESPAÑA, 2013. Adaptado pela autora)

Fontes: Indicadas no Quadro e adaptadas pela autora, 2018 da ABNT, 2013b; ESPAÑA, 2013.
Notas: Sendo: **Φ** = Fluxo luminoso (lm); A = área (m^2); L_b = Luminância de fundo (cd/m^2); L = Luminância da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador (cd/m^2); ω = ângulo sólido da parte luminosa de cada luminária na direção do olho do observador; p = índice de posição *Guth* de cada luminária, individualmente relacionado ao seu deslocamento a partir da linha de visão; P = Potência total instalada em Watts.

As grandezas fotométricas apresentadas no Quadro 2 estão descritas na literatura da iluminação artificial (ABNT, 2013b; ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015; IES, 2011; SLL, 2009). Tais grandezas correspondem às unidades de medida adotadas pelos documentos investigados para o estabelecimento de métricas concernentes ao conforto visual e/ou dedicadas à obtenção de maior eficiência energética no ambiente habitado.

As grandezas fotométricas encontram-se desagregadas nos dois eixos aqui estabelecidos: as métricas em conforto visual e as de eficiência energética dos sistemas de iluminação no ambiente habitado. Esta classificação possibilita identificar com maior clareza as características de cada grupo e as relações estabelecidas entre os parâmetros analisados.

2.3.1 Indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais

Entre as publicações mais utilizadas por profissionais e pesquisadores internacionais estão os manuais das duas mais importantes instituições da área, a *Illuminating Engineering Society* – IES (2011) e a *The Society of Light and Lighting* – SLL (2009). As duas instituições possuem um comitê internacional de pesquisadores que atualizam conhecimentos e discutem a respeito da tecnologia da iluminação aplicada à arquitetura e boas práticas da iluminação.

O manual *The IES Lighting Handbook* (IES, 2011) reúne no capítulo 18 – Iluminação Residencial –, um conjunto de indicadores de iluminação para as diversas atividades exercidas nos ambientes residenciais. As recomendações de conforto visual consideram as iluminâncias associadas à faixa de idade dos usuários do ambiente, a uniformidade da iluminação e a refletância das superfícies internas (Tabela 1). Outros parâmetros como a temperatura de cor correlata, índice de reprodução de cor, os diversos efeitos luminotécnicos produzidos, suas aplicações e dispositivos de controle são apresentados para as diferentes atividades.

Tabela 1 - Principais recomendações de Iluminâncias

Ambiente	**E (lux)**						**U**
	Eh			Ev			
	Faixa de idade			Faixa de idade			
	<25	25-65	>65	<25	25-65	>65	
Jantar							
Formal	25	50	100	10	20	40	4:1
Informal	50	100	200	20	40	80	4:1
Quartos							
Mesas	200	400	800	37,5	75	150	
Geral (vestir)	25	50	100	15	30	60	3:1
Leitura na cama	100	200	400	50	100	200	
Assistir televisão	15	30	60	7,5	15	30	3:1
Cozinha							
Área café da manhã	100	200	400	25	50	100	5:1
Armários				25	50	100	3:1
Cooktops	150	300	600	25	50	100	2:1
Geral	25	50	100	10	20	40	5:1
Preparo	250	500	1000	37,5	75	150	2:1
Pias	150	300	600	25	50	100	2:1

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de IES, 2011.
Notas: Sendo: E = Iluminâncias; U = Uniformidade.

Semelhante ao manual IES (2011), os principais estudos realizados pelos membros pesquisadores da SSL estão reunidos nas publicações SLL *Lighting Handbook* (SSL, 2009) e na coletânea SLL *Lighting Guides* (SSL, 2013). O Guia 09, *Lighting for Communal Residential Buildings* (SSL, 2013), reúne um conjunto de orientações consideradas como boas práticas de iluminação em ambientes residenciais, podendo variar de um pequeno apartamento até os diferentes tipos de residências. A Tabela 2, a seguir, sintetiza as principais recomendações para a realização das atividades em ambientes residenciais.

Os dois manuais consideram, ainda, outras variáveis como a eficiência energética e a gestão da energia, com uso de sistemas de controle da luz.

Tabela 2 - Principais recomendações do Guia 9

Ambiente	E_M (lux)	T_{cp} (K)	R_a
Sanitários			
Toalete	100		> 85
Banheiro	150		> 85
Quartos			-
Geral	100	2.700 - 3.000	> 85
Bancada	Adicional de 150		> 85
Na cabeceira	100		> 85
Salas	100		> 85
Sala de estar	100		> 85
Sala de TV	50		> 85
Para leitura	Adicional de 200		> 85
Cozinha	200	3.000 - 4.000	> 85
Sala de jantar	150	2.700	> 85

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de SLL, 2013.

Como nos manuais, as regulamentações também apresentam um conjunto de indicadores da iluminação, porém eles estão instituídos como valores mínimos de desempenho a serem alcançados pelas edificações. Muitos deles expressam as características e particularidades de cada país ou grupo de países onde a regulamentação se encontra em vigor. As principais regulamentações são:

2.3.1.1 Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

No Brasil, encontram-se vigentes duas normas que instituem indicadores de desempenho da iluminação artificial. A ABNT NBR 15575-1 – Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais (ABNT, 2013a) e a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho –Parte 1 – Interior (ABNT, 2013b), dedicada à tipologia não residencial.

A Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais (ABNT, 2013a) estabelece no item 13 o desempenho da iluminação artificial das habitações brasileiras. Os diferentes ambientes dos edifícios habitacionais devem atender a iluminâncias médias (M). Os níveis intermediário (I) e superior (S) são sugestões para ambientes que buscam maior conforto dos usuários (Tabela 3)

Tabela 3 - Iluminâncias para iluminação artificial das habitações brasileiras

Ambiente	Iluminamento geral para os níveis de desempenho (lux)		
	(M)	(I)	(S)
Sala de estar	≥100	≥150	≥200
Dormitório			
Banheiro			
Área de serviço/Garagens			
Copa/cozinha	≥200	≥300	≥400
Corredor ou escada interna à unidade	≥100	≥150	≥200

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ABNT, 2013a. Anexo E.
Notas: Sendo: (M) = Valores mínimos obrigatórios; (I) = Níveis intermediários; (S) = Níveis superiores.

As iluminâncias instituídas na norma de Desempenho das Habitações (ABNT, 2013a) constam na extinta ABNT NBR 5413 (ABNT, 1992). A retomada desses indicadores demonstra a importância de parâmetros de desempenho de conforto visual em habitações, uma vez que a norma atual, a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b), não inclui a tipologia residencial.

2.3.1.2 International Organization for Standardization (ISO)

A ISO é uma organização internacional que reúne associações ou instituições representativas da normalização de vários países, incluindo o Brasil (representado pela ABNT), para desenvolvimento de normas internacionais.

A ABNT ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b) apresenta os requisitos para o planejamento da iluminação, atribuindo a cada tipo de ambiente uma iluminância média, um índice limite de ofuscamento (UGR_L) e um índice de reprodução de cor mínimo (R_a). Apesar de ser uma norma dedicada ao setor não residencial, algumas das atividades apresentadas são compatíveis com muitas das atividades residenciais (Tabela 4).

Tabela 4 - Ambientes (áreas), tarefas, e atividades com a especificação de iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor

(continua)

Tipo de tarefa, ambiente ou atividade	E_M (lux)	U_{GRL}	R_a
Áreas gerais da edificação			
Sala de espera	200	22	80
Áreas de circulação e corredores	100	28	40
Refeitório/cantina	200	22	80
Salas de descanso	100	22	80
Vestiários/banheiros/toaletes	200	25	80
Lavanderias e limpeza a seco			
Lavagem e limpeza a seco	300	25	80
Passar roupa	300	25	80

Tabela 4 - Ambientes (áreas), tarefas, e atividades com a especificação de iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor

(conclusão)

Tipo de tarefa, ambiente ou atividade	E_M (lux)	U_{GRL}	R_a
Escritório			
Escrever, teclar, ler e processar dados	500	19	80
Restaurantes e hotéis			
Cozinha	500	22	80
Restaurante, sala de jantar, sala de eventos	200	22	80

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ABNT, 2013b.

Em conjunto com os requisitos do planejamento da iluminação, a norma considera a influência do entorno imediato à tarefa exercida, de modo a permitir uma distribuição balanceada da luz e a evitar mudanças drásticas de iluminância que afetam o conforto visual (Tabela 5).

Tabela 5 - Iluminâncias mantidas na área do entorno imediato

Iluminância da tarefa E_M (lux)	Iluminância do entorno imediato E_M (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de trabalho

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ABNT, 2013b.

2.3.1.3 European Committee for Standardization (CEN)

As normas utilizadas pela Comunidade Europeia são instituídas pelo CEN e válidas para todos os países integrantes. As questões relativas ao desempenho da iluminação estão descritas na DIN EN 12464-1 – *Light and lighting Lighting of work places – Part 1: Indoor work places* (CEN, 2011).

A norma discrimina os ambientes interiores, as tarefas ou as atividades para o setor industrial, comercial e público. O setor residencial não é contemplado pela norma. Não obstante, a Tabela 6 a seguir demonstra atividades existentes nas áreas gerais de edifícios que podem servir como referência para a temática residencial.

Semelhante à ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b), a norma considera a influência do entorno imediato à tarefa exercida e traz recomendações da relação de iluminâncias para a realização da tarefa e o entorno imediato, com valores semelhantes à ABNT

NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b). Apresenta também parâmetros para a proteção contra o ofuscamento e outros requisitos.

Tabela 6 - Requisitos mínimos para a iluminação segundo a CEN (2011)

Tipo de área, tarefa ou atividade	Em (lux)	UGR_L	U_o	R_a
Cantinas e copas	200	22	0,4	80
Quarto de descanso	100	22	0,4	80
Vestiários, banheiros e sanitários	200	25	0,4	80
Cozinha	500	22	0,6	80
Restaurante, sala de jantar, sala de eventos	-	-	-	80
Corredores	100	25	0,4	80

Fonte: Autora, 2018 – Adaptado de CEN, 2011. Ver requisitos específicos descritos na norma.

2.3.1.4 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)

Nos Estados Unidos, os requisitos mínimos de eficiência energética em unidades habitacionais estão descritos na ASHRAE *Standard* 90.2 – *Energy-Efficient Design of Low – Rise Residential Buildings* (ASHRAE, 2007). Essa norma traz recomendações de desempenho da envolvente da edificação, sistemas e equipamentos domésticos, entre outros, porém não trata dos requisitos de desempenho da iluminação artificial.

Já a ASHRAE *Standard* 90.1 – *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* (ASHRAE, 2016) é mais abrangente, abordando as tipologias comerciais, públicas e de serviços. A seção 9 (*Lighting*) da norma estabelece os requisitos mínimos de desempenho energético dos sistemas de iluminação artificial instalados nas edificações.

O indicador de eficiência da iluminação é a densidade de potência de iluminação (DPI) e pode ser obtido por dois métodos: o método da área do edifício – *The Building Area Method* (Tabela 7) e o método espaço por espaço – *The Space-by-Space Method* (Tabela 8).

Tabela 7 - Densidade de potência da iluminação artificial – The Building Area Method

Tipo de área da edificação	DPI (W/m^2)
Dormitório	6,56
Escritórios	8,50
Jantar: família	8,40
Multifamiliar	7,32

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ASHRAE, 2016.

Tabela 8 - DPI pelo método Space-by-Space

Tipo espaço comum	DPI (W/m^2)
Área de refeições	
Em uma instalação para deficientes visuais	21,52
No jantar da família	7,64
Todas as outras áreas de jantar	6,78
Quarto de hóspedes	8,29
Lavanderia/Área de lavar roupa	4,63
Dormitório – alojamento	5,81

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ASHRAE, 2016.

O método da área considera o tipo da edificação e a área iluminada do andar. Já o método espaço por espaço é aplicado considerando cada ambiente da edificação separadamente, utilizando a relação de ambientes estipuladas na norma. Caso o ambiente apresente funções múltiplas, o ambiente será dividido em subespaços menores.

2.3.1.5 Building Energy Efficiency Standards

O estado da Califórnia (EUA) desenvolveu leis estaduais mais rigorosas para a questão da eficiência energética nas edificações e para a iluminação artificial em ambientes residenciais (CEC, 2015). O código da Califórnia, *Building Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings*, no título 24, Parte 6 (CEC, 2017), apresenta os requisitos de desempenho a serem atendidos pela iluminação residencial.

O referido código determina o uso de sistemas de iluminação de alta eficiência atuando em conjunto com sensores e dispositivos de controle da luz. Os sistemas de iluminação considerados de alta eficiência devem atender aos requisitos que associam aspectos de conforto visual e eficiência luminosa (Tabela 9).

Os requisitos adicionais de qualificação estão detalhados no item JA8 da referida norma. Nesse item são definidas as particularidades das diferentes fontes de luz e luminárias, incluindo aquelas usadas para fins de iluminação decorativa e as luminárias em LED com fontes de luz integradas, que devem ser certificadas pela Comissão de Energia, cumprindo requisitos específicos.

Tabela 9 - Principais requisitos de qualificação para alta eficiência das fontes de luz segundo o item JA8 do Código da Califórnia

Especificação	Exigência
Eficiência inicial	≥ 45 lúmens/W
Temperatura de Cor	≤ 4.000 K ≤ 3.000 K (A maioria das fontes)
IRC	≥ 90 %
Vida útil	≥ 15.000 h
Nível de dimerização	≤ 10%

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de CLTC, 2016.

2.3.1.6 The Building Code of Australia (BCA)

O código de obras da Austrália, *The Building Code of Australia* – BCA (ABCB, 2016a, 2016b), contém as disposições técnicas para a concepção e construção de edifícios no país. A iluminação e eficiência energética são reguladas por meio de padrões mínimos de desempenho especificados na Seção J6.2 *Artificial lighting*.

O BCA considera as tipologias de edificações separadas em dez classes. A tipologia residencial encontra-se contemplada nas classes 1, 2 e 4 (ABCB, 2016a, 2016b). A eficiência energética dos sistemas de iluminação nos ambientes internos residenciais não deve exceder 5 W/m^2 nos ambientes da habitação e 4 W/m^2 nas áreas de varanda (ou similar) ligados à unidade de ocupação. O referido código permite a utilização de um fator de ajuste na DPI, caso o sistema de iluminação possua dispositivos de controle. Esse valor pode variar entre 0,5 e 0,95, a depender do ambiente, dispositivo de controle e sistema de iluminação proposto.

As edificações contidas nas demais classes são as tipologias comerciais, de serviços ou públicas e devem atender a requisitos de $DPI_{L,}$ como demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10 - Densidade de potência máxima da iluminação segundo o BCA

Ambiente	DPI_L (W/m^2)
Áreas comuns, espaços e corredores em um prédio de classe 2	8
Dormitório de um edifício de classe 3 utilizado com a função de dormir apenas	6
Dormitório de um edifício de classe 3 com a função de dormir e estudo	9
Cozinha e área de preparação de alimentos	8
Escritório – iluminado artificialmente com iluminância de 200 lux ou mais	9
Escritório – iluminado artificialmente com iluminância inferior a 200 lux	7

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ABCB, 2016a.

A DPI_L para as atividades e ambientes não descritos no BCA (ABCB, 2016a) podem ser estimadas através da iluminância pretendida para cada ambiente (Tabela 11).

Tabela 11 - Densidade de potência máxima da iluminação pela iluminância pretendida

Iluminância pretendida E (lux)	DPI_L (W/m^2)
$E \geq 80$	7,5
$80 < E \leq 160$	9,0
$160 < E \leq 240$	10
$240 < E \leq 320$	11
$320 < E \leq 400$	12
$400 < E \leq 480$	13
$480 < E \leq 540$	14
$540 < E \leq 620$*	15

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ABCB, 2016a.
Notas: *Para níveis de iluminamento superiores a 620 lux, a eficiência luminosa média da fonte de luz não deve ser inferior a 80 Lúmens/W.

2.3.1.7 Documento Básico (DB)

Na Espanha, os indicadores relativos ao desempenho da iluminação artificial concentram-se em dois principais regulamentos: na DIN EN 12464-1 (CEN, 2011) e no código de obras do país, intitulado *Documento Básico – DB, HE-3 Eficiencia Energética de las Instalaciones de Iluminación* (ESPAÑA, 2013).

As recomendações apresentadas na sessão HE3 excluem a aplicação do código no interior de habitações, porém o documento possui indicadores para as atividades afins ao uso residencial (ESPAÑA, 2013).

Este documento se destaca por instituir o Valor da Eficiência Energética da Instalação de Iluminação (VEEI), que mede a eficiência energética da iluminação de uma área de atividade distinta. Sua unidade de medida é W/m^2 por cada 100 lux (Tabela 12). Na literatura brasileira esse indicador é denominado densidade de potência relativa (DPI_R).

Tabela 12 - Valor da Eficiência Energética da Instalação de Iluminação (VEEI) de ambientes internos

Áreas de atividade	VEEI Limite (W/m^2 por cada 100 lux)
Cozinhas	4
Hotéis e restaurantes	8
Quartos de hotel, pousada, etc.	10

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de España, 2013.

O Documento recomenda ainda a DPI dos sistemas de iluminação em função do uso do edifício. A Tabela 13 - expõe a DPI para atividades afins, como prédio público residencial e os meios de hospedagem.

Tabela 13 - DPI máxima instalada das instalações de iluminação pelo uso do edifício

Uso do edifício	DPI máxima instalada (W/m^2)
Hospedagem	15
Público residencial	12
Edifícios com nível de iluminação superior a 600lux	25

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de España, 2013.

2.3.1.8 Indicadores instituídos nas certificações

As certificações brasileiras para edificações residenciais oriundas de iniciativas do Governo Federal são o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R (ELETROBRAS; UFSC, 2014) e o Selo Casa Azul, emitido pela Caixa Econômica Federal (2010). As duas trazem um conjunto de recomendações no que se refere ao desempenho em edificações residenciais.

Os empreendedores ou usuários que desejem obter outras certificações de qualidade ambiental das edificações podem recorrer aos selos internacionais. Algumas instituições internacionais já possuem referenciais considerando as características locais, a exemplo da *Haute Qualité Environnementale* – HQE, conhecida no Brasil como Alta Qualidade Ambiental – AQUA (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2014); e *Green Building Council Brasil* (GBC BRASIL, 2014), que oferece a *Leadership in Energy and Environmental Design* – LEED, conhecida em sua versão brasileira como GBC Brasil Casa e Condomínio.

O RTQ-R apresenta as recomendações necessárias para a classificação da eficiência energética de unidades habitacionais autônomas (UH), e outros tipos como unifamiliares e multifamiliares. Os requisitos a serem atendidos pela iluminação artificial encontram-se no item bonificações, como iniciativas que aumentam a eficiência da UH.

O desempenho da iluminação é determinado através de limites mínimos de eficiência luminosa. O melhor desempenho pode ser obtido quando os ambientes das UH possuírem todas as fontes de iluminação com eficiência luminosa superior a 75 lm/W ou tiverem obtido o Selo PROCEL (ELETROBRAS; UFSC, 2014).

Diferentemente do RTQ-R, os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C (ELETROBRAS; UFSC, 2015) determinam diretrizes para o dimensionamento da iluminação artificial utilizando o indicador DPI_L. Dois métodos podem ser utilizados para avaliar a

eficiência energética do edifício: o método da área do edifício (Tabela 14) e o das atividades do edifício (Tabela 15).

Por fim, o método da área da edificação, que avalia o sistema de iluminação de forma geral, é aplicado quando a edificação possui no máximo três atividades principais ou quando as atividades ocupam mais de 30% da área do edifício. A Tabela 14 apresenta a aplicação do método.

Tabela 14 - DPI_L pelo método da área da edificação

Função da edificação	DPI_L (W/m^2)			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Hotel	10,8	12,4	14	15,7
Restaurante	9,60	11,00	12,50	13,90
Hospedagem, dormitório	6,60	7,60	8,60	9,60

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Eletrobras; UFSC, 2015.

Tabela 15 - DPI_L pelo método das atividades do edifício

Ambiente / atividade	Limite		DPI_L (W/m^2)			
	K	RCR	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Lavanderia	1,2	4	6,5	7,8	8,1	10,4
Quartos de hotel	0,8	6	7,5	9,0	10,5	13,0
Restaurante – hotel	1,2	4	8,8	10,56	12,32	14,08
Espera – convivência	1,2	4	6,0	7,2	8,40	9,60

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Eletrobras; UFSC, 2015.
Notas: Onde: RCR: Room Cavity Ratio (adimensional); K: índice de ambiente (adimensional).

2.3.2 Análise dos indicadores

A investigação demonstrou a existência de uma ampla diversidade de indicadores de desempenho da iluminação artificial. O Quadro 3 apresenta uma síntese dos documentos consultados e os principais indicadores encontrados, com marcadores que identificam a natureza do documento e a tipologia da edificação abordada.

Os indicadores relativos ao conforto visual parecem ser suficientemente abordados pelas publicações examinadas. Como exemplo, a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b) juntamente com a DIN EN 12464-1 (CEN, 2011) são normas que contemplam uma grande diversidade de países. As duas reúnem as principais recomendações em conforto visual para ambientes no setor não residencial.

Quadro 3 - Síntese dos principais indicadores presentes nas publicações consultadas

PESQUISA DIRIGIDA		INDICADORES									
		Conforto do usuário					Eficiência				
		E_M (lux)	**U_o**	**UGR_L**	**R_a**	**T_{cp} (K)**	**DPI (W/m²)**	**DPI_L (W/m²)**	**DPI_R (W/m². 100 lux)**	**η (lm/W)**
Manuais	*The IES Lighting Handbook* (IES, 2011).	●	●		●	●				
	Lighting for Communal Residential Buildings (SLL, 2013).	●			●	●				
Normas e códigos	ABNT NBR 15575-1(ABNT, 2013a).	⊖								
	ABNT NBR ISO/CIE 8995-1(ABNT, 2013b).	■		■	■	■				
	DIN EN 12464-1 (CEN, 2011).	■	■	■	■	■				
	ASHRAE *Standard* 90.1 (ASHRAE, 2016).							■		
	Building Energy Efficiency Standards for Residential Buildings (CEC, 2017).				●	●				●
	The Building Code of Australia (ABCB, 2016a, 2016b).						●			
	Código Técnico de la Edificación de España. (ESPAÑA, 2013)							■	■	
Certificações	RTQ - C (ELETROBRAS; UFSC, 2015).						□			
	RTQ - R (ELETROBRAS; UFSC, 2014).									⊖
	AQUA (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2014) e GBC Brasil (2014)	⊖								⊖

Fonte: Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt, 2018.
Notas: Sendo: ● Edificação residencial /internacional; ⊖ Edificação residencial /brasileira; ■ Edificação não residencial/ internacional; □Edificação não residencial/ brasileira.

Os ambientes residenciais apresentam indicadores de conforto visual descritos predominantemente nos manuais de iluminação da IES (2011) e da SSL (2009, 2013), uma vez que entre os documentos examinados não são encontradas regulamentações voltadas para a área residencial. A exceção ocorre com a Norma de Desempenho (ABNT, 2013a), na qual são encontradas iluminâncias mínimas para ambientes residenciais. Já os indicadores de eficiência energética estão presentes predominantemente nas normas e códigos.

Entre os indicadores analisados, o indicador de densidade de potência limite (DPI_L) apresenta-se como o mais difundido para o setor não residencial, sendo o de eficiência luminosa o indicador mais aplicado ao setor residencial. Porém, essa observação não se configura uma regra. O código de obras da Austrália (ABCB, 2016a, 2016b), por exemplo, estabelece o indicador de densidade de potência limite (DPI_L) da iluminação para as tipologias residenciais

do país. Apesar de ser generalista, por não detalhar as atividades exercidas nos ambientes internos, representa um avanço por instituir e abordar a questão residencial considerando os mesmos critérios das demais tipologias construtivas.

Dos indicadores de eficiência energética existentes nas regulamentações dedicadas aos ambientes residenciais, o código da Califórnia (CEC, 2017) destaca-se das demais publicações por instituir um conjunto de indicadores que associam critérios de conforto visual e eficiência dos sistemas de iluminação residencial de forma integrada. Esses parâmetros podem ser observados ao estabelecer limites de eficiência luminosa, IRC e aparência de cor como principais critérios que definem a iluminação de alta eficiência.

Outro ponto forte do código da Califórnia (CEC, 2017) está na aparência de cor recomendada para a iluminação de alta eficiência. A cor intermediária ou quente na iluminação, em que a temperatura de cor limite é de 4.000K, associada ao elevado índice de reprodução de cor, traz contribuições para a manutenção do ciclo circadiano e seus efeitos sobre a supressão de melatonina noturna dos usuários em residências (FIGUEIRO, 2013; FIGUEIRO; PLITNICK; REA, 2014). Já o código espanhol (ESPAÑA, 2013) é pioneiro ao instituir a densidade de potência relativa (DPI_R) como indicador para medir o desempenho da iluminação em regulamentações.

A DPI_R possui como parâmetro de composição do indicador a iluminância mantida e a DPI do ambiente. Essa característica associa critérios de conforto visual e eficiência no ambiente simultaneamente em um mesmo indicador. A DPI_R é considerada um bom indicador para ambientes laborais, onde o critério mais importante é a uniformidade da luz no ambiente.

2.3.2.1 Os indicadores da iluminação em residências brasileiras

A análise comparativa das semelhanças e diferenças mais significativas entre os indicadores examinados confirma que os indicadores brasileiros são genéricos e apresentam pouco rigor se comparados com a maioria dos indicadores encontrados na literatura internacional.

Os indicadores de conforto visual das habitações brasileiras, expressos na Norma de Desempenho (ABNT, 2013a), consideram apenas iluminâncias mantidas em ambientes residenciais, enquanto outros indicadores demandam valores mínimos para uniformidade, ofuscamento, aparência e reprodução de cor da luz (ABNT, 2013b; CEN, 2011; SLL, 2013). A

Tabela 16 sintetiza os indicadores de desempenho brasileiros recomendados pelas normas com aplicação residencial.

O mesmo ocorre com o indicador de eficiência da iluminação. O RTQ-R (ELETROBRAS; UFSC, 2014) recomenda um valor mínimo de eficiência luminosa (75 lm/W) para as habitações que desejam desempenho energético. Já os indicadores da tipologia não residencial, como os instituídos no RTQ-C (ELETROBRAS; UFSC, 2015), são mais abrangentes, pois consideram os diversos usos da edificação, os ambientes internos e as atividades exercidas.

Tabela 16 - Síntese dos principais indicadores recomendados para habitações no Brasil

Normas/ Ambientes	**Indicadores**								
	Conforto visual					Eficiência da iluminação			
	E_M (lux)	U_o	UGR_L	R_a	T_{cp} (K)	DPI (W/m^2)	DPI_L (W/m^2)	DPI_R (W/m^2. 100 lux)	η ([lm/W)
ABNT NBR 15575-1 Salas, quartos, banheiro	≥100	-	-	-	-	-	-	-	-
ABNT NBR 15575-1 Cozinha	≥200	-	-	-	-	-	-	-	-
RTQ – R Todos os ambientes	-	-	-	-	-	-	-	-	≥75

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ABNT, 2013a; Eletrobras; UFSC, 2014.

As certificações ambientais citadas neste trabalho – HQE/AQUA (FUNDAÇÃO VANZOLINI, 2014) e GBC Brasil (2014), por exemplo –, possuem os documentos referenciais desenvolvidos para a realidade brasileira. Essas certificações, ao considerar apenas os indicadores descritos nas regulamentações nacionais, limitam as possibilidades de inserção de novas tecnologias associadas a metas mais ousadas, relativas ao desempenho energético da iluminação em ambientes residenciais.

A falta de um conjunto de indicadores que associem conforto visual e eficiência leva os projetistas brasileiros a recorrer a parâmetros de outras tipologias construtivas como as comerciais, de serviços e públicas, muitas vezes com critérios de desempenho diferentes do desejado para residências.

2.3.3 Lacunas e tendências

A pesquisa documental indica importantes lacunas nos documentos examinados à luz dos conhecimentos disponíveis nessa área de estudo. Primeiramente, é importante frisar que as tipologias comercial e de serviços apresentam indicadores de desempenho amplamente descritos na literatura consultada, tanto na nacional quanto na internacional, concernentes ao conforto visual e relativos ao desempenho dos sistemas da iluminação no ambiente. Estes indicadores apresentam-se desagregados por tipo de tarefa ou atividade.

Apesar de existir nos documentos analisados uma separação notória entre os aspectos de conforto visual, por um lado, e o desempenho energético, por outro, os indicadores apresentados para a tipologia não residencial são conciliáveis e podem ter vasta aplicação em projetos com ênfase em desempenho energético. A necessidade de apresentá-los de maneira integrada é evidente, uma vez que esses indicadores estão diretamente relacionados.

As normas residenciais, em um dado momento, passaram a não ter atualizações com a mesma frequência dos demais setores. Torna-se evidente que os diversos parâmetros de projeto de iluminação para o setor residencial foram deixados a cargo do bom senso dos profissionais que atuam nesse segmento.

Uma vez que os indicadores instituídos nas normas brasileiras demonstram ser genéricos e pouco rigorosos, baseados apenas nos valores de iluminâncias mantidas, resta aos projetistas brasileiros buscar referenciais de projetos em conforto visual utilizando os manuais, por exemplo, da IES (2011) ou o guia LG 09 (SSL, 2013).

No que concerne ao desempenho energético, como descrito anteriormente, os documentos analisados referentes à tipologia residencial concentram-se, em sua maioria, no desempenho energético dos equipamentos instalados, desconsiderando os impactos no conforto visual e no consumo de energia produzidos em razão das diferentes configurações dos ambientes residenciais e as atividades exercidas. Verifica-se uma importante lacuna para o desenvolvimento de projetos de iluminação artificial.

O estado da Califórnia – EUA (CEC, 2017) foi pioneiro ao conciliar questões relativas à qualidade da luz, à saúde do usuário e ao desempenho energético, observando-se a inauguração de uma importante tendência de abordagem integrada. As recomendações para os sistemas em LED de alto desempenho (CLTC, 2016), porém, não apresentam ainda uma boa aplicabilidade à realidade das residências brasileiras, seja devido ao alto custo, seja pela pouca oferta local desses equipamentos com IRC superior a 90, conforme constatado nos bancos de

dados virtuais disponibilizados pelos fabricantes de lâmpadas e sistemas de iluminação em LED (DIAL GMBH, 2018d).

Por fim, ampliando a abordagem dos aspectos trazidos pela experiência da Califórnia e verificando-se a tendência de abordar de forma integrada os aspectos fundamentais da iluminação artificial, esta tese propõe uma abordagem constituída por três pilares fundamentais da relação da luz nos ambientes residenciais: (I) os parâmetros necessários para a realização de tarefas específicas, associadas à saúde e ao conforto visual dos usuários desses ambientes; (II) o desempenho lumínico dos equipamentos instalados; (III) o desempenho da iluminação considerando o efeito produzido no espaço habitado, no qual a estrutura composta se caracteriza pela forma da organização dos equipamentos nesses espaços. O indicador desejável deverá atender de forma integrada a esses três parâmetros.

Assim, defende-se que essas três abordagens componham a base teórica sobre a qual deverão se apoiar as novas normas. Vislumbram-se indicadores de desempenho mais rigorosos para o uso da luz artificial em residências, uma vez que saúde e desempenho estão intrinsecamente relacionados.

2.3.4 Considerações finais da análise dos indicadores

A prática de projeto com ênfase em desempenho pressupõe a existência de um conjunto de indicadores que permitam a comparação do desempenho luminoso de diferentes soluções. O presente trabalho demonstra a existência de grande número de indicadores da iluminação, instituídos nos manuais e regulamentos, para tipologias não residenciais. No entanto, faltam indicadores que melhor expressem o desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais e que considerem as particularidades do local, tipologias construtivas, tecnologias disponíveis e atividades exercidas nos ambientes.

A pesquisa documental sugere que o estado da arte caminha para o desenvolvimento de um conjunto de indicadores que associem conforto visual e eficiência energética, resultando na criação de novos paradigmas referentes aos projetos de iluminação artificial.

A etiquetagem da eficiência energética das edificações no Brasil pode ser considerada o marco inicial que institui o conceito de projeto residencial com ênfase em desempenho. Para tanto, torna-se imprescindível a utilização de indicadores que sirvam como ferramenta de projeto aplicada à arquitetura no contexto brasileiro, integrando as exigências de conforto visual com as demandas energéticas nas edificações residenciais.

Os aspectos acima apresentados ressaltam a importância da inclusão desses parâmetros nas normas vigentes, assim como a difusão desse conhecimento na formação profissional, já que a configuração dos ambientes habitados é determinada pelos projetistas.

2.4 A simulação computacional e os indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais

Os avanços na integração de tecnologias computacionais na arquitetura, ocorridos a partir de 1990, permitiram que a prática e a teoria da Arquitetura evoluíssem simultaneamente, trazendo novas abordagens e orientações metodológicas de projeto, entre elas aquelas que consideravam os aspectos formais do projeto arquitetônico como consequência dos condicionantes tecnológicos. Observa-se o crescimento de edifícios baseados na tectônica (FRAMPTON, 1995) e no desempenho, bem como o interesse nos paradigmas envolvendo a complexidade desses projetos (OXMAN, 2006, 2008, 2017).

As tecnologias de modelos arquitetônicos paramétricos buscam a integração de sistemas computacionais para o desenvolvimento de projetos. Nesse sentido, os modelos de simulação baseados em desempenho contam com *softwares* que oferecem processos dinâmicos de formação com base em objetivos específicos de desempenho. A arquitetura emerge como consequência desses condicionantes (OXMAN, 2006, 2008, 2017).

A simulação de modelos arquitetônicos com ênfase em desempenho pressupõe a utilização de um “conjunto de critérios que são padrões utilizados para testar julgamentos e decisões” (GRONDZIK; KWOK, 2013, p. 12). Os indicadores são entendidos como valores referenciais que auxiliam o projetista em relação ao desempenho que se deseja obter.

Os ambientes arquitetônicos necessitam de um conjunto de indicadores que melhor expressem o desempenho dos sistemas instalados. Ao comparar seu próprio desempenho com o desempenho do referencial estabelecido, os gestores (gerentes ou proprietários) de um edifício podem identificar, de forma simplificada, possibilidades de incremento possibilidades de incremento em seu desempenho (CBCS, 2013).

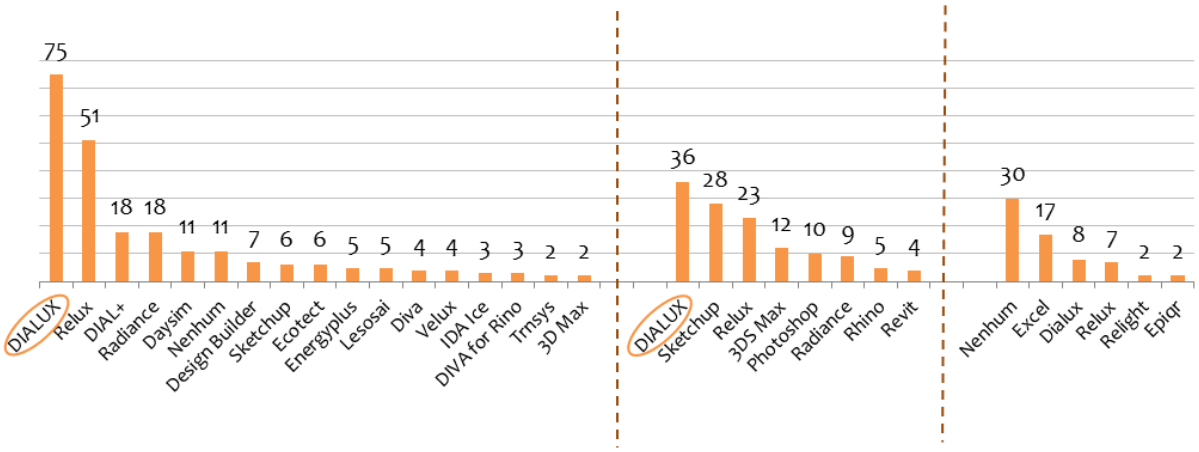
2.4.1 Os softwares de apoio ao projeto de iluminação

A luz e sua interação com a arquitetura contam com modelos matemáticos usados nos *softwares* de iluminação. Esses programas, cada vez mais integrados e parametrizados, auxiliam o projeto com ferramentas de cálculo, visualização e gerenciamento de aspectos

quantitativos e qualitativos, tais como uniformidade luminosa, contrastes, refletância das superfícies internas, bem como questões estéticas da luz em ambientes internos e externos do edifício (MONEDERO, 2015a).

A Figura 3, baseada no estudo de Kaempf e Paule (2016), apresenta as preferências de cerca de mil profissionais de diferentes países em relação a diversas ferramentas ou programas de iluminação indicados para simulação, visualização e gestão disponíveis. Observa-se que a maioria dos *softwares* é dedicada ao desempenho energético. Os *softwares DIALux* e o *Relux* destacam-se entre os mais utilizados para simulações computacionais e visualização de projetos (KAEMPF; PAULE, 2016).

Figura 3 - Preferência dos profissionais em relação aos diversos programas de iluminação indicados para simulação, visualização e gestão



Fonte Autora, 2018. Adaptado de Kaempf e Paule, 2016.

Uma pesquisa semelhante, realizada no Brasil entre os profissionais da área (SÁ, 2010), apresentou o *Relux* em primeiro lugar, seguido do *DIALux* e do *AGi32*. Posteriormente, a mesma revista (LANCELLE, 2013, 2014; MELO, 2015; SOUZA, 2017) comenta que a chegada do *DIALux* na versão *Evo* expandiu a sua posição no cenário das preferências no Brasil. Segundo Meshkova e Budak (2013), o *DIALux* é um dos programas mais populares para simular a iluminação. Essa grande aceitação ocorre principalmente por ser gratuito, por estar disponível em aproximadamente 25 idiomas e por contar com as parcerias que possibilitam a utilização do *software* com diferentes catálogos de luminárias dos principais fabricantes (DIAL GMBH, 2018b, 2018d).

Recentemente, Baloch e outros (2018) desenvolveram uma revisão sistemática da literatura, abrangendo 70 artigos publicados no período de 2001 a 2017 que abordam a simulação da iluminação de espaços arquitetônicos em meio virtual. Nessa revisão, o *DIALux* não está presente na lista dos mais citados em revistas indexadas, apresentando apenas uma citação. Isso ocorre pela facilidade com que os pesquisadores desenvolvem seus próprios programas com base em algoritmos de sua preferência particular, com apoio de programas como o MATLAB em conjunto com outros programas, tais como *EnergyPlus*, *Radiance*, *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* (LabVIEW), *Transient System Simulation* (TRNSYS).

Esse resultado demonstra certo distanciamento entre os estudos acadêmicos e o mercado profissional, uma vez que a suíte de programas *DIALux* lidera a preferência dos profissionais nos aspectos relacionados à simulação e à visualização de projetos de iluminação (KAEMPF; PAULE, 2016). Não obstante, já se observa um gradativo interesse no *DIALux* por parte da área acadêmica, com a sua utilização em teses e dissertações (CORDEIRO, 2018; MOURA, 2015).

Pelos motivos explicitados, este item pretende examinar a capacidade do *software DIALux evo* 8 para avaliar, de forma integrada, o desempenho visual e a eficiência energética quando da elaboração de projetos de iluminação artificial em ambientes residenciais. A visualização desse desempenho (geralmente expresso na forma de indicadores de *performance* da iluminação artificial) durante a elaboração desses projetos é relevante, já que permite ajustes nos rumos dos projetos desde suas etapas iniciais, possibilitando examinar o impacto decorrente de diferentes decisões projetuais.

As grandezas fotométricas a serem investigadas foram apresentadas no ítem anterior[2], no Quadro 2 (p. 31). Correspondem às unidades de medida adotadas para o estabelecimento de métricas concernentes ao conforto visual e à obtenção de maior eficiência energética nos ambientes, grandezas estas que serão examinadas com o auxílio do *software DIALux evo* 8.

Pretende-se também verificar quais indicadores determinados são considerados como referenciais de projeto pelo *software.* Para isso, foram examinados os manuais eletrônicos e o suporte técnico disponibilizado pelo *software* (DIAL GMBH, 2018b). Por último, foram feitas modelagens de ambientes residenciais utilizando o *DIALux evo 8* como ferramenta para simulação e análises de desempenho energético, a fim de verificar a capacidade do *software* de

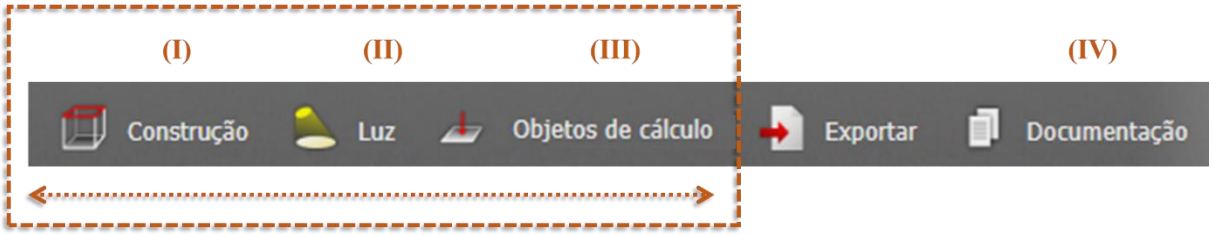
[2] Ítem 2.3 - Análise dos indicadores de desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais.

simular análises energéticas concomitantemente com a visualização do efeito luminotécnico e suas repercussões na gestão dos projetos da edificação que se quer examinar.

2.4.2 O programa DIALux evo como ferramenta de análise de indicadores da iluminação artificial

A simulação do desempenho de sistemas de iluminação artificial com modelos virtuais, na interface do *software DIALux evo* 8 (DIAL GMBH, 2018b), consiste em um processo de construção e retroalimentação de dados relativos ao projeto de iluminação, a partir da configuração de três itens fundamentais: (I) **Construção**, (II) **Luz** e (III) **Objetos de cálculo.** Estes itens são detalhados nos parágrafos subsequentes. Os demais itens, (IV) **Exportação** e **Documentação**, referem-se à manipulação dos dados de saída das simulações, como exportação de dados e imagens, e apresentação de relatórios (Figura 4).

Figura 4 - Itens de configuração dos modelos no DIALux evo 8



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de *DIALux evo 8.* Interface do *software*.

2.4.2.1 Construção

A fase de construção refere-se aos aspectos relacionados aos parâmetros de modelagem do ambiente (edifício ou espaço urbano), às atividades desenvolvidas nos modelos e às caraterísticas das superfícies constituintes, atribuídos aos materiais, bem como as cores das superfícies.

O processo de construção é realizado por uma série de ferramentas que permitem a modelagem da edificação no espaço virtual, podendo ser um ambiente, um andar, vários pavimentos, ruas e ambientes externos. Isso ocorre com o *input* dos atributos relativos a ele, incluindo a inserção do mobiliário dos ambientes e espaços urbanos a partir de um catálogo de objetos parametrizados. No *DIALux evo* existe um catálogo de objetos que podem ser reproduzidos no modelo com dimensões e características dos materiais constituintes modificados (DIAL GMBH, 2018b).

O modelo a ser utilizado nas simulações poderá também ser construído em outros programas paramétricos que possuam interface com o *DIALux evo*, a exemplo do *AutoCAD* e do *Revit*, ambos da suíte da Autodesk, além do *SketchUp*.

Na etapa de construção, são definidas as atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente, no andar e no edifício. Nesse momento, as caraterísticas dos ambientes internos são associadas aos parâmetros estabelecidos pela DIN EN 12464-1 (CEN, 2011) e CIE 97 (CIE, 2005), que tratam do conforto visual nos ambientes de trabalho, e à manutenção de equipamentos elétricos de iluminação. Ainda nessa etapa são definidas as métricas do desempenho da iluminação artificial, assim como os referenciais de desempenho visual a serem examinados, tais como iluminâncias mínimas necessárias no desenvolvimento dos diversos tipos de atividades, como também IRC e outros indicadores.

Como segunda opção normativa, o *software* disponibiliza, desde a versão 7 (DIAL GMBH, 2017), os parâmetros para a obtenção do conforto visual adotados pela *Illuminating Engineering Society* no IES *Lighting Handbook* (2011). Como a DIN EN 12464-1 (CEN, 2011) não abrange o uso residencial no seu escopo, os parâmetros descritos no referido manual IES (2011) são empregados nas simulações realizadas em tais ambientes. A Figura 5 demonstra o uso residencial e suas aplicações e atividades exercidas nos ambientes descritos pela IES (2011).

Figura 5 - Eleição da tipologia residencial e atividades exercidas nos ambientes internos, utilizando os parâmetros descritos pela IES (2011)

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de *DIALux evo 8.* Interface do *software*.

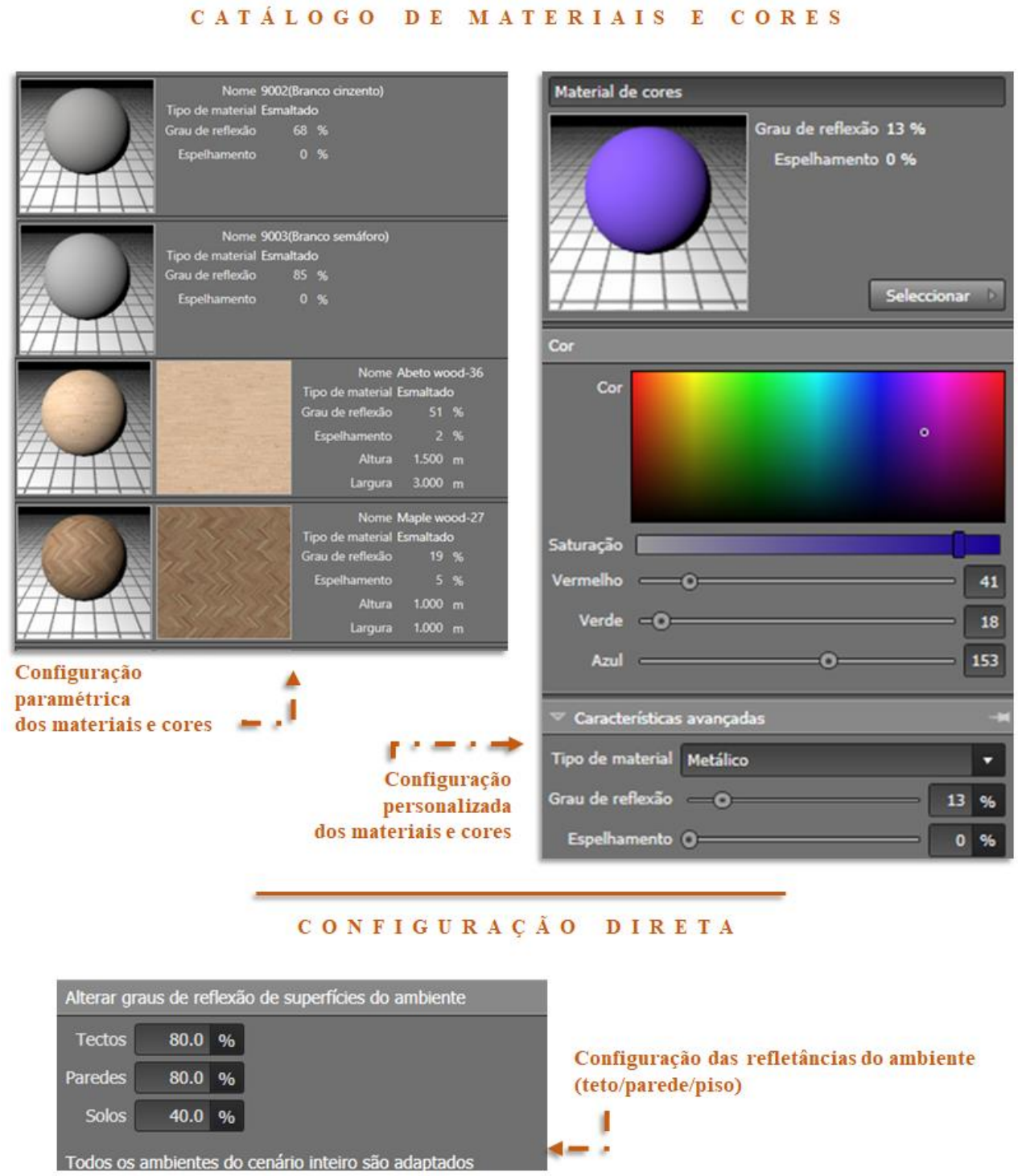
2.4.2.2 Características das superfícies: materiais e cores

As características das superfícies dos materiais e cores que compõem os ambientes podem ser inseridas de duas formas: i) pela modelagem paramétrica, utilizando o catálogo de materiais e cores disponíveis no *software;* ii) pela configuração direta do ambiente (Figura 6).

As propriedades físicas do objeto arquitetônico, como o tipo do material, sua textura e cor, são exibidas na tela do catálogo de materiais e cores do *DIALux evo.* Caso as configurações descritas no catálogo não atendam às características do modelo em construção, é possível criar a textura desejada a partir do tipo de material e do grau de refletância da superfície. O tipo de material pode ter superfície metálica, espelhada ou transparente, bem como alterar as chamadas características avançadas, que definem o brilho de cor de acordo com o respectivo grau de reflexão, como demonstrado na Figura 6.

Por outro lado, o método de configuração direta ou rápida consiste na inserção imediata das refletâncias das superfícies do ambiente de piso, paredes e teto, de acordo com a CIE (2005). Esse método pode ser utilizado no início da modelagem tanto quanto nos ajustes finais na construção dos modelos.

Figura 6 - Interface de configuração dos materiais e cores no DIALux evo 8



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de *DIALux evo 8.* Interface do *software.*

2.4.2.3 Luz

O *DIALux evo* considera três aspectos como fundamentais para a modelagem da iluminação artificial em ambientes virtuais: (i) os **sistemas de iluminação artificial**, (ii) os **cenários** e (iii) o **consumo energético dos sistemas**.

2.4.2.3 Os sistemas de iluminação artificial

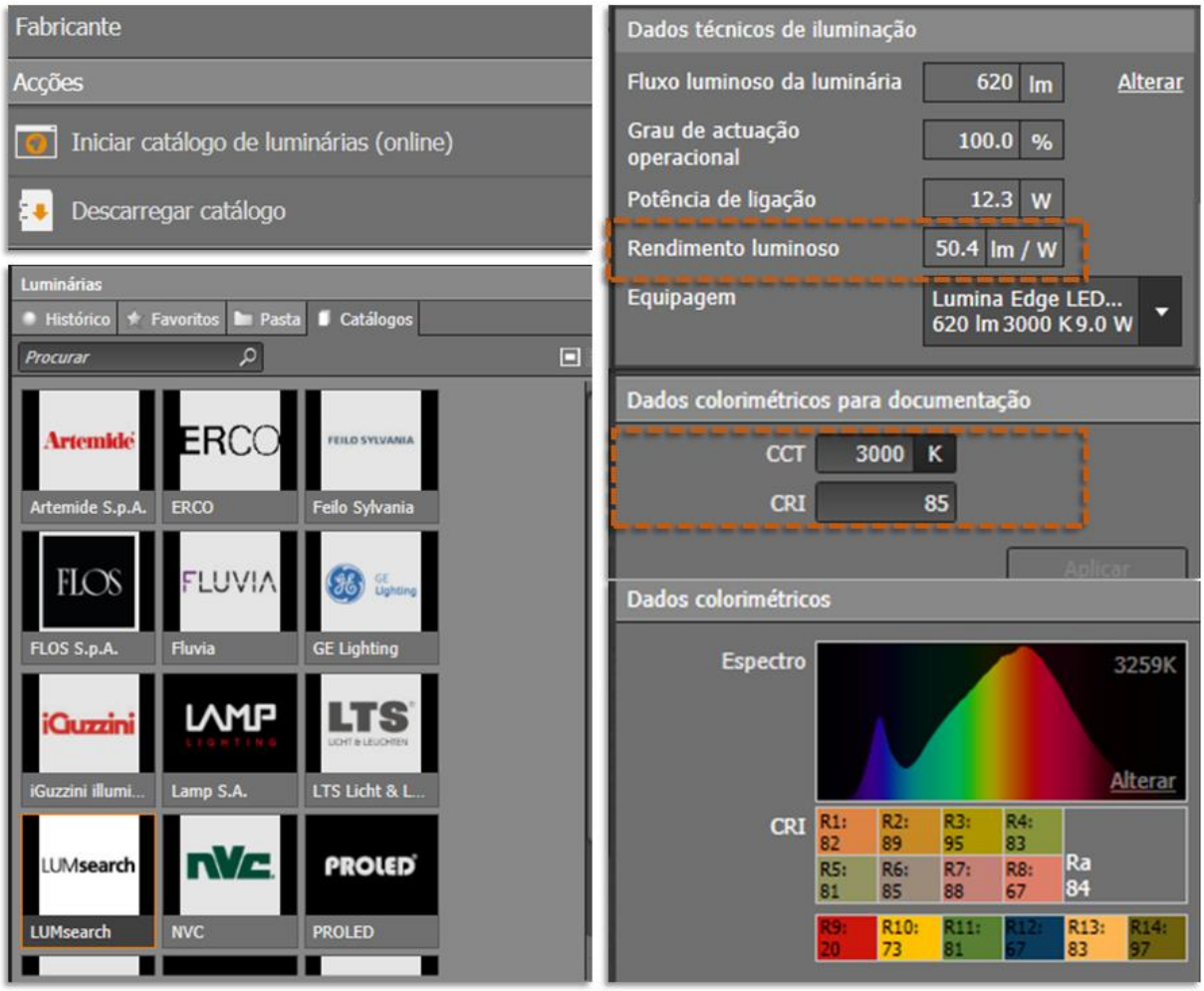
Os parâmetros que compõem os sistemas de iluminação artificial incluem luminárias, lâmpadas e sistemas de controle de luz diurna. Eles são inseridos utilizando uma plataforma eletrônica composta de catálogos de sistemas de iluminação, que contribuem para o banco de dados do programa, denominados *LUMsearch plug-in*.

O LUMsearch (DIAL GMBH, 2018d) é uma ferramenta de busca *online* de sistemas de iluminação. Conta com mais de 280 fabricantes, que disponibilizam os dados luminotécnicos no formato *ULD* ou *EULUMDAT* (**.ldt*). Os dados fotométricos das fontes de luz, como, por exemplo, o fluxo luminoso (lm), a eficiência luminosa (lm/W), a temperatura de cor (K) e o IRC são automaticamente inseridos na luminária ou sistema de iluminação.

Os parâmetros contidos nos sistemas de iluminação citados anteriormente podem ser personalizados e modificados durante a modelagem, sendo possível a inclusão de lâmpadas e luminárias de outros fabricantes. Durante a personalização, são inseridos e ajustados os parâmetros de desempenho almejados pelo projetista. Esse processo encontra-se sintetizado na Figura 7. Vale ressaltar que a disponibilização e edição dos dados relacionados à eficiência luminosa (lm/W) da luminária é uma ferramenta nova apresentada pelo *software* na versão 8 (DIAL GMBH, 2018a, 2018b).

O *LDT Editor 1.2* (DIAL GMBH, 2018c) é outro *software* que permite a personalização dos dados fotométricos a serem utilizados nas simulações. Este *software* é indicado para editar parâmetros luminotécnicos, se necessário for, como dimensões, configuração de lâmpadas e intensidade luminosa, adequando os sistemas disponíveis às necessidades do projeto. Os parâmetros podem ser salvos como um arquivo EULUMDAT, independentemente do formato de arquivo original e integrados ao projeto de iluminação desenvolvido no *DIALux*.

Figura 7 - Seleção e edição de sistemas de iluminação



(I) Pesquisa por sistemas de iluminação (II) Edição de parâmetros

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de *DIALux evo 8.* Interface do *software.*

2.4.2.4 Cenários de luz

Uma vez definidos os sistemas de iluminação, a ferramenta denominada "cenários de luz" permite a organização desses sistemas por grupos no mesmo ambiente, que podem ser compostos de sistemas de iluminação natural, artificial ou integrados. A ferramenta permite o desenvolvimento de múltiplos cenários e efeitos produzidos pela interação desses grupos.

Outro aspecto importante diz respeito às técnicas de controle da luz no ambiente. Os cenários facilitam a visualização de efeitos produzidos por dimerizadores, filtros e outros equipamentos. Dessa forma, é possível ajustar o fluxo luminoso da fonte, alterar critérios de cor e de outras características típicas de um projeto de iluminação.

2.4.2.5 Consumo de energia

O *software* agregou o gestor de consumo de energia às configurações dos sistemas de luz. Esta ferramenta oferece três opções de medição: do consumo dos sistemas de iluminação em kWh por ano; do Indicador Numérico de Energia da Iluminação (*Lighting Energy Numeric Indicator*) – LENI em kWh por ano por metro quadrado; e o custo anual, Euro por ano (pois se trata da moeda padrão do programa). As faixas numéricas apresentadas podem ser ajustadas em função das necessidades do projetista (Figura 8).

Figura 8 - Medição do consumo de energia e custos

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de *DIALux evo 8.* Interface do *software*.

O LENI é um indicador determinado de acordo com as especificações da norma DIN EN 15193-1 (CEN, 2017), que especifica a medida da eficiência energética das instalações de iluminação em edifícios. É considerado um indicador completo por incluir nas variáveis que o compõem aspectos referentes à luz natural, sistemas artificiais e equipamentos de controle da luz, incluindo as rotinas de uso do ambiente e das pessoas na edificação. O LENI possibilita também apresentar aspectos específicos de cada ambiente da iluminação, denominado sub – *LENI, Lighting Energy Numeric Indicator for an area* – $LENI_{sub}$ e outros aspectos como o intervalo de tempo – que pode ser anual (CEN, 2017). Estes parâmetros podem ser editados e configurados em função das particularidades da simulação programada.

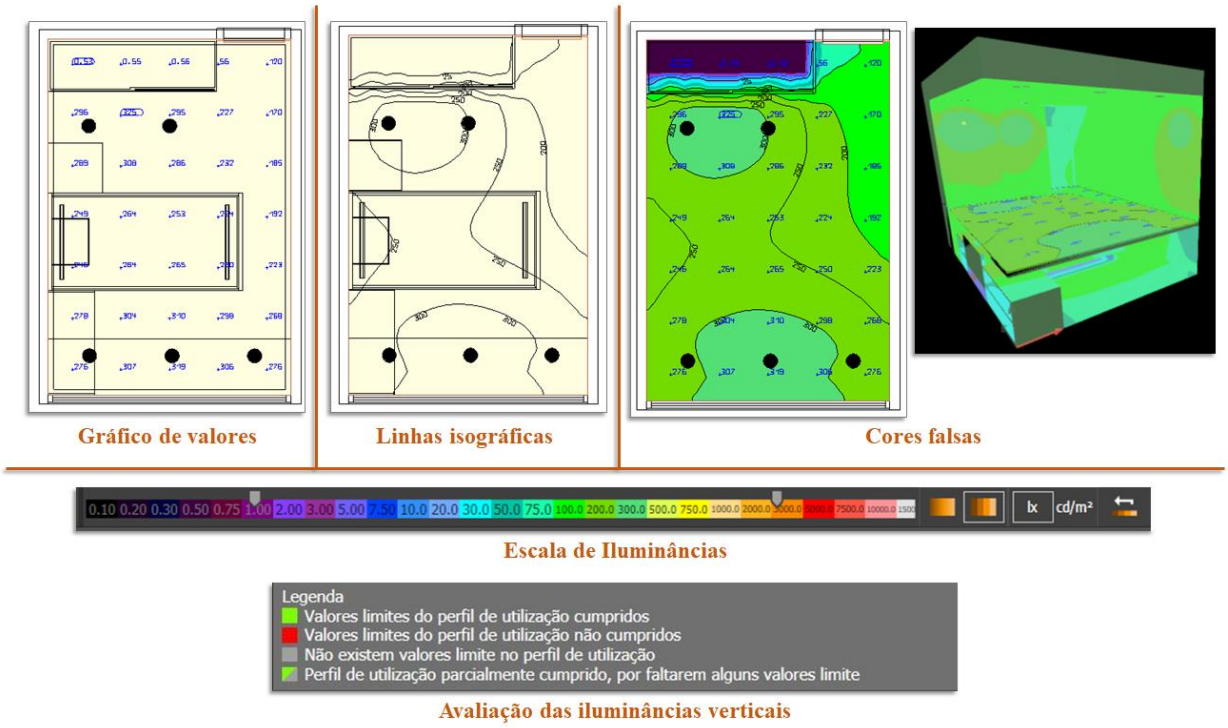
No *DIALux evo*, o LENI e os indicadores de consumo da iluminação são associados a um taquímetro, visível em todas as etapas do projeto. Esta ferramenta mede os consumos e sinaliza os ambientes que estão acima dos limites estabelecidos pelo projetista (Figura 8).

2.4.2.6 Objetos de cálculo

A etapa de objeto de cálculo consiste na definição de parâmetros relativos ao cálculo de iluminação. Isso significa pensar nas atribuições do modelo nos planos de uso, que podem ser as superfícies ou o ambiente como um todo. Envolve ainda a definição das zonas marginais aos planos, ou seja, as distâncias em relação às paredes e outros elementos.

Nesta interface são também configurados os diagramas que representam as iluminâncias obtidas no modelo em relação aos planos definidos. Estes diagramas podem ser o **gráfico de valores**, **linhas isográficas** e de **cores falsas** (Figura 9).

Figura 9 - Espacialização dos resultados no ambiente virtual do DIALux evo 8



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de *DIALux evo 8.* Interface do *software.*

O gráfico de valores apresenta uma malha de pontos contendo as iluminâncias do ambiente no plano determinado pelo projetista ou seguindo os parâmetros determinados pela norma técnica estabelecida pelo programa, a DIN EN 12464-1 (CEN, 2011). Já as linhas isográficas, ou curvas de isoiluminância, são traçadas pelos pontos com igual iluminância, obtidos pela interpolação das iluminâncias contidas no plano de referência.

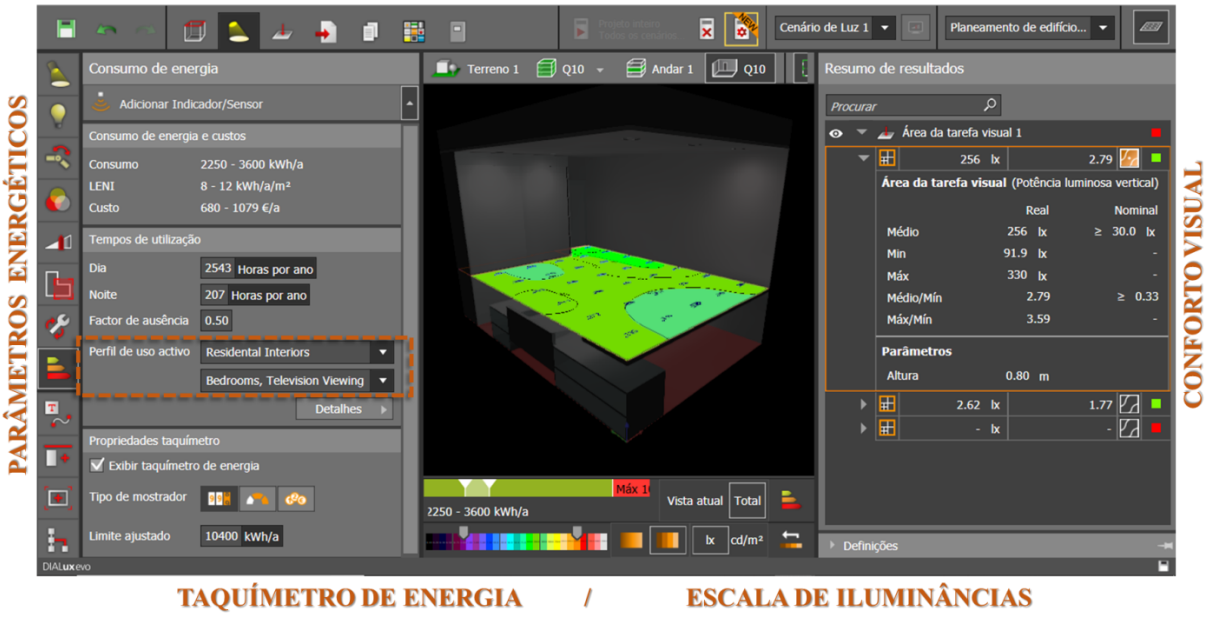
As linhas isográficas são também apresentadas utilizando cores. O *software* oferece três gamas de cores para valores baixos, valores médios e valores altos, totalizando 27 disponíveis.

Os valores apresentados pelas iluminâncias nos diagramas de cor, nas unidades lux ou em Candelas/m^2, são utilizados em todos os diagramas e vistas do projeto. Por esse motivo, são chamadas de “cores falsas globais” (DIAL GMBH, 2018b).

Ao finalizar as três etapas elencadas, por este trabalho, como protagonistas – (i) Construção; (ii) Luz; (iii) Objetos de cálculo –, é possível visualizar, em uma única tela do programa, os indicadores considerados mais acessíveis ao usuário.

Como exemplo, a Figura 10 apresenta um modelo de simulação da iluminação residencial situado no centro. Na lateral direita encontra-se um resumo dos indicadores de conforto visual, contendo dados relativos à iluminância, na lateral esquerda estão os parâmetros de desempenho energético. Na parte inferior da tela encontra-se o taquímetro de consumo energético e a escala de iluminâncias, com a qual o *software* acusa se as metas estabelecidas para cada projeto foram alcançadas.

Figura 10 - Indicadores de desempenho energético e visual no modelo de simulação



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de DIALux evo 8. Interface do *software*.

A janela lateral direita, denominada “Resumo dos resultados” (Figura 10), determina os valores relativos à potência de iluminância e o fator de uniformidade do modelo simulado. Estes dados possibilitam ao projetista iniciar análises de conforto visual e ofuscamento, utilizando o fator de ofuscamento (U_o) obtido na simulação. Outros resultados gráficos, bem como valores

relacionados ao Limite de Ofuscamento Unificado (UGR_L), serão apresentados posteriormente na fase de Documentação.

2.4.2.7 Documentação

A etapa (IV) **Documentação** refere-se aos resultados obtidos nas simulações, decorrentes das três etapas anteriormente descritas. Na Documentação constam informações dos sistemas de iluminação, montagem, instalação, desempenho visual e energético das soluções modeladas previamente. As informações emitidas podem ser sobre um ambiente, um andar, um edifício ou um grupo deles.

Nos relatórios encontram-se as DPIs correspondentes ao plano de uso do ambiente, denominadas pelo *software* como Potência de Ligação Específica e apresentam os valores expressos em W/m² e W/m²/100 lx. Encontra-se também o rendimento luminoso do sistema de iluminação, em lm/W. Como exemplo, a Figura 11 demonstra a saída de dados, disponibilizados pelo *software*, de um modelo de desempenho da iluminação para um ambiente residencial.

Figura 11 - Indicadores de desempenho energético da iluminação artificial disponibilizados na Documentação

RELATÓRIO DIALux

#	Luminária	Φ(Luminária) [lm]	Potência [W]	Rendimento luminoso [lm/W]
5	[illegible] - 08 EF36-E10700830	700	10.5	66.7
	Somatório de todas as luminárias	3500	52.5	66.7

Potência de ligação específica: 5.31 W/m² = 2.28 W/m²/100 lx (Superfície da divisão 9.88 m²)

Os valores de consumo de energia referem-se às luminárias planeadas para o ambiente, sem considerar cenários de iluminação e seus estados reostáticos.
Consumo: 91 - 140 kWh/a de no máximo 350 kWh/a

DPI DO AMBIENTE

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de *DIALux evo* 8. Interface do *software*.

2.4.3 Verificação dos indicadores da iluminação artificial

Após verificar quais indicadores estão inseridos como referenciais de projeto pelo *DIALux evo* 8, foi possível identificar a aplicação dos indicadores e reuni-los em dois grupos, sintetizados no Quadro 4.

Os indicadores denominados como de **Simulação integrada** são aqueles determinados pelo *software* para a realização de análises de desempenho integradas do modelo simulado. Já o segundo grupo de indicadores, disponibilizados na fase de **Documentação**, depende de configurações adicionais dedicadas à saída de dados nos relatórios. Estes dados podem ser organizados de forma a conter todos os parâmetros disponíveis durante a saída de dados ou apenas dados parciais, a critério do projetista.

Observa-se que a maioria dos indicadores referentes ao conforto visual encontram-se determinados na fase denominada **Simulação integrada**. Já os indicadores relativos ao desempenho energético, como a densidade de potência da iluminação, apresentam-se como dados de saída, na fase de **Documentação.**

Quadro 4 - Indicadores investigados disponíveis nas fases de Simulação e Documentação

	Conforto visual	Eficiência energética
Simulação integrada	E (lux) E_{med} (lux) E_{min} (lux) E_{max} (lux) E_{min} / E_{med} E_{min}/E_{max} U_o R_a T_{cp} (K)	η ([lm/W) C (kWh/a) LENI (kWh/a/m^2)
Documentação	UGR_L	DPI_L (W/m^2) DPI_R (W/m^2 . 100 lux)

Fonte: Autora, 2018.
Notas: Sendo: E = Iluminância (lux); E_{max} = Iluminância máxima(lux); E_{min} = Iluminância mínima (lux); E_{med} = Iluminância média (lux); C = Consumo (kWh/a). * Indicadores determinados pelo *software.*

2.4.4 Discussões do uso do software em análises de desempenho

A análise do *software DIALux evo* quando dirigido ao processo de determinação dos indicadores de iluminação artificial em ambientes residenciais identificou lacunas e tendências relativas ao uso do *software*, apresentadas a seguir. As discussões incidem nas métricas

determinadas pelo *software* e nos aspectos relacionados à interface com o usuário durante as análises de desempenho visual e energéticas disponibilizadas pelo *DIALux evo*.

2.4.4.1 As métricas determinadas no software

Ao iniciar o processo de modelagem, observam-se limitações no que se refere aos parâmetros relacionados aos ambientes residenciais e às métricas estabelecidas no *software* como referencial de projeto. Por se tratar de um *software* que possui abrangência mundial, a adoção apenas das normativas europeias é um aspecto limitador, pois muitos projetistas buscam atender a outras normas internacionais. A *International Organization for Standardization – ISO*, por exemplo, possui a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b) com abrangência internacional, vigente inclusive no Brasil. Essa e outras normativas poderiam ser contempladas como alternativas à DIN EN 12464-1 (CEN, 2011).

Outro aspecto relacionado à DIN EN 12464-1 (CEN, 2011) refere-se aos usos arquitetônicos descritos pela norma. A norma atende aos ambientes interiores, tarefas ou atividades para o setor industrial, comercial e público, e exclui o setor residencial. Esse aspecto é considerado como uma carência normativa enfrentada pelos projetistas que pretendem simular o desempenho visual da iluminação artificial em ambientes residenciais. Isto tem levado o projetista a buscar, por analogia, os parâmetros utilizados para ambientes similares àqueles constantes de edificações comerciais e de serviços.

O LENI foi instituído pelas normas europeias como um indicador das análises energéticas no ambiente por meio da DIN EN 15193-1 (CEN, 2017), que determina um método padrão de cálculo para a avaliação do desempenho energético dos edifícios. Consta no seu escopo que a referida norma não tem a função de definir limites ou valores referenciais de projeto; é um meio alternativo de demonstrar a conformidade dos sistemas de iluminação.

O indicador de densidade de potência da iluminação – DPI (W/m^2) seria uma possibilidade viável para a comparação de desempenho energético. Para esse indicador existem documentos normativos que o instituem nas análises energéticas, a exemplo da ASHRAE *Standard 90.1* (ASHRAE, 2016). Esses documentos determinam referenciais de desempenho energético considerando as particularidades do ambiente e das atividades exercidas, como ocorre com a DIN EN 15193-1 (CEN, 2017). Porém, vale ressaltar que as referidas normas não atendem à tipologia residencial, aspecto esse apontado por Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018) como lacuna normativa.

2.4.4.2 A interface gráfica relativa às análises energéticas

O *software DIALux evo 8* possui uma boa interface gráfica, possibilitando trabalhar de forma associada o sítio, o edifício, os seus ambientes, as unidades isoladas. Permite também conciliar três aspectos fundamentais: a visualização do efeito luminotécnico desejado, o conforto visual e a eficiência dos sistemas instalados.

Observa-se, porém, que a interface gráfica do *software* prioriza as análises das iluminâncias, no que se refere ao conforto visual e ao desempenho energético medido pela estimativa do consumo de energia e seu respectivo LENI. Estes indicadores são rapidamente identificados durante a simulação.

A preferência por análises de conforto visual com abordagem baseada em iluminâncias associadas a parâmetros de uniformidade da luz é notória. Baloch e outros (2018) ratificam essa característica, demonstrando que esse tipo de preferência se tornou comum na maioria dos *softwares*. No caso das análises realizadas utilizando o *DIALux evo*, os gráficos que apresentam informações mais detalhadas a respeito da previsão do risco de desconforto por ofuscamento (UGR_L) são apresentados sob a forma de relatório.

Ao contrário dos demais parâmetros, a DPI apresenta dificuldade de visualização no *software* durante a simulação, levando o projetista a recorrer aos relatórios finais (documentação) sempre que desejar obter a DPI do ambiente. A busca por indicadores nos relatórios requer um processo trabalhoso que, por sua vez, demanda análises comparativas realizadas externamente ao programa. Este aspecto poderia ser eliminado pelo aprimoramento das áreas de trabalho do *software*, permitindo a inclusão de seleção de ferramentas contendo tais indicadores, bem como campos destinados à inserção de métricas relacionadas à DPI que auxiliem o projetista nas avaliações energéticas.

2.4.4.3 Lacunas e tendências

A consulta na página eletrônica do fabricante permite prever que em um futuro próximo estará contemplada nas novas versões do *DIALux evo* a criação de novas ferramentas gráficas que favoreçam a visualização de indicadores complementares àqueles determinados atualmente nas análises energéticas disponibilizadas pelo *software*, apresentando uma interface gráfica mais amigável e integrada à visualização do efeito produzido pela luz artificial no modelo de simulação.

Espera-se, também, que o *software* introduza outros padrões de desempenho visual e energético, a exemplo da ABNT NBR ISO/CIE (ABNT, 2013b) e da ASHRAE (2016), bem como desenvolva novas ferramentas que favoreçam a inserção de referenciais de projeto personalizados pelo projetista. Esse aspecto favorece a prática de *benchmarking* aplicada à iluminação de ambientes, visando ao alcance de melhores índices de desempenho.

2.4.5 Considerações finais a respeito dos indicadores e *o DILux evo 8*

O *software DIALux evo* apresenta uma interface que integra questões importantes esperadas pela área de projeto e tecnologia, que vão desde a modelagem, parametrização, visualização dos efeitos luminotécnicos, até os critérios de desempenho visual e de eficiência energética estabelecidos pelas normas ou pelos critérios de projeto.

As lacunas observadas no uso dessa ferramenta referem-se à aplicação do *software* em tipologias residenciais. As normas europeias de iluminação, a citar a DIN EN 12464-1 (CEN, 2011), atendem a requisitos dedicados às edificações comerciais e de serviço. Esta barreira é percebida durante a configuração das atividades, pois a tipologia residencial não se encontra presente. O padrão IES (2011) foi definido recentemente pelo *software* como alternativa para a realização das análises do conforto visual do projeto residencial, opção esta também recomendada por Moraes, Muros Alcojor e Bittencourt (2018) como parâmetro considerado viável para suprir a lacuna normativa existente.

Outro aspecto importante refere-se ao fato de que alguns indicadores que não possuem a mesma facilidade de visualização das métricas no *software* durante a simulação, levando o projetista a recorrer aos relatórios finais (documentação) sempre que desejar examinar o desempenho do ambiente. Essa característica que envolve a etapa da Documentação já faz parte da rotina dos demais *softwares*, pois a maioria se baseia no conceito de relatório de desempenho para a disponibilização de dados.

Os resultados da investigação apontaram para a necessidade de incorporar, nas análises disponibilizadas pelo *software*, outros padrões normativos como referenciais de desempenho visual e energético dos diferentes ambientes simulados. Esse aspecto poderia ser associado a novas ferramentas gráficas, considerando a necessidade de ampliar a grade de opções de referenciais disponibilizados pelo *software*, favorecendo assim o processo de *benchmarking* da iluminação artificial.

O *DIALux evo* 8 é um *software* que concilia aspectos de visualização do efeito produzido e das análises de desempenho visual e energético. A equipe técnica responsável pelo *software* demonstra receptividade às críticas e rapidez na solução de problemas eventualmente encontrados, conforme demonstrado no histórico das versões do programa (DIAL GMBH, 2017, 2018a). Isso pode ter contribuído para a preferência dos profissionais pelo *software*, segundo a literatura consultada.

As questões apresentadas neste capítulo ressaltam a importância da utilização de indicadores como referenciais que podem ser utilizados durante o processo de gestão do projeto dos sistemas de iluminação artificial, contribuindo dessa maneira para o aperfeiçoamento das ferramentas computacionais capazes de realizar análises energéticas integradas à visualização dos efeitos luminotécnicos produzidos no modelo de simulação.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada para alcançar o objetivo proposto de desenvolver um conjunto de procedimentos para avaliação do desempenho da Iluminação Artificial que expresse, por meio de métricas, o desempenho integrado do conforto visual e a eficiência dos sistemas de Iluminação em Ambientes Residenciais – LAR, consiste numa análise comparativa do seu desempenho.

Os procedimentos metodológicos propostos para a concepção desses indicadores baseiam-se em análises paramétricas do impacto produzido pelas diferentes configurações da forma, disposição, organização e localização da instalação dos sistemas de iluminação no ambiente. Para tal, foi realizado um conjunto de simulações computacionais de vários cenários espaciais de uma sala de estar/jantar em edificações residenciais.

As variáveis que compõem os modelos de simulação paramétrica estão baseadas em estudos realizados e revisados pela *Illuminating Engineering Society* (IES, 2011) e pela *Society of Light and Lighting* (SLL, 2009, 2013). Eles reúnem as principais atividades exercidas em ambientes residenciais, assim como parâmetros de conforto visual. As normas brasileiras (ABNT, 2013a, 2013b) estão em consonância com esses manuais.

Os parâmetros utilizados nas simulações foram agrupados em quatros itens, a saber: I) **características do ambiente;** II) **refletância das superfícies internas e texturas;** III) **fatores humanos relacionados ao conforto visual;** IV) **sistemas de iluminação, tipos e arranjos espaciais das luminárias.**

O agrupamento dessas informações possibilita uma análise paramétrica integrando a influência exercida por cada uma dessas variáveis no desempenho da iluminação. Após a delimitação desses parâmetros, serão descritos os procedimentos relativos às análises paramétricas e os instrumentos definidos para expressar de forma gráfica os indicadores anteriormente abordados.

3.1 Configuração dos parâmetros de análise

3.1.1 Ambientes residenciais

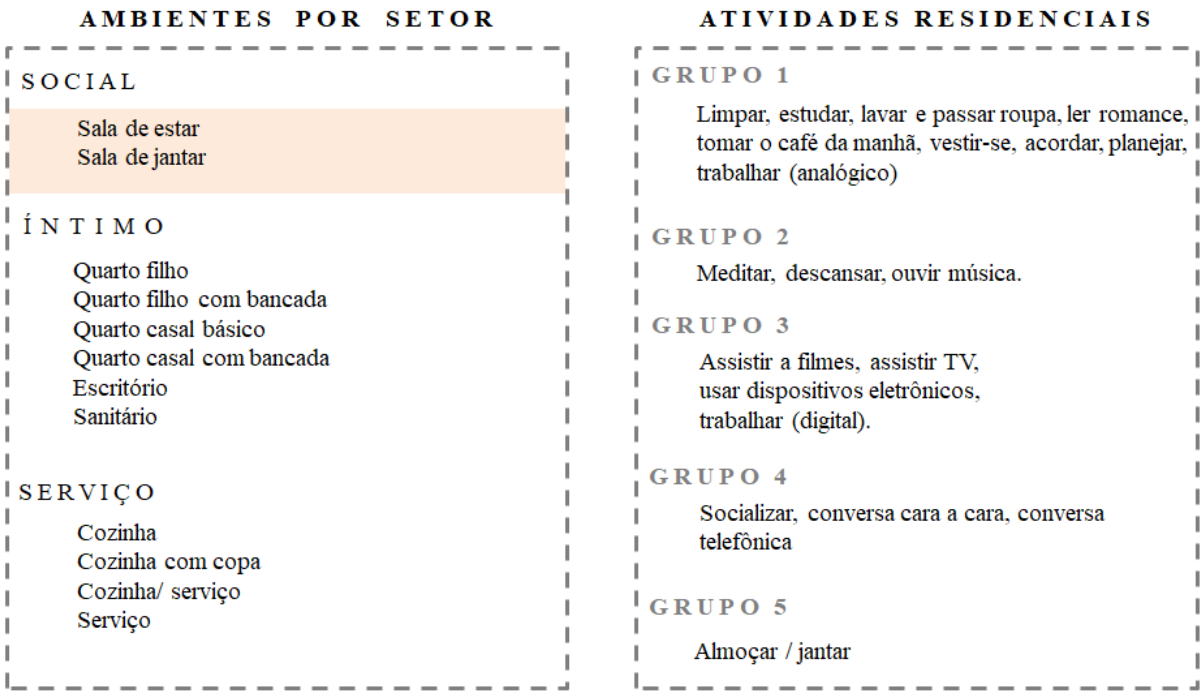
Os ambientes residenciais foram caracterizados considerando como referenciais os estudos da tipificação e os aspectos morfológicos de arranjos espaciais do produto imobiliário brasileiro descrito por Brandão (2002, 2003, 2006) e aspectos de tipologias residenciais

representativas para estudos de eficiência energética descritos por Triana, Lamberts e Sassi (2015). Na configuração do objeto de estudo, foram consideradas as seguintes características espaciais dos modelos a serem simulados:

3.1.1.1Tipo de ambiente e atividade exercida

O tipo de ambiente e atividade nele exercida são parâmetros intrinsecamente relacionados, uma vez que cada ambiente é designado com o intuito de atender às atividades humanas no espaço habitado. Foi adotado nesta tese um recorte espacial caracterizado pela sala de estar/jantar que representa a solução mais frequente nos espaços residenciais que compõem a residência tradicional brasileira (BRANDÃO, 2002; TRAMONTANO, 1998), tipo esse característico das principais habitações atuais. Essas habitações possuem os ambientes funcionais dispostos de forma tripartida, agrupados em três setores: social, íntimo e serviço. As atividades exercidas nos ambientes delimitados (Figura 12) são as típicas residenciais, como descritas nos manuais (CLTC, 2016; IES, 2011; SLL, 2009, 2013) e em estudos que versam a respeito da iluminação residencial (CHOI; LEE; SUK, 2016).

Figura 12 - Delimitação dos ambientes residenciais e atividades



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Brandão, 2003, Tramontano, 1998 e Choi, Lee e Suk , 2016.

Nos ambientes listados, foram consideradas múltiplas atividades exercidas para um mesmo ambiente (Figura 12). Essas atividades compreendem trabalhos manuais e auxiliados por equipamentos eletrônicos presentes no dia a dia do fazer humano residencial.

3.1.1.2 Forma

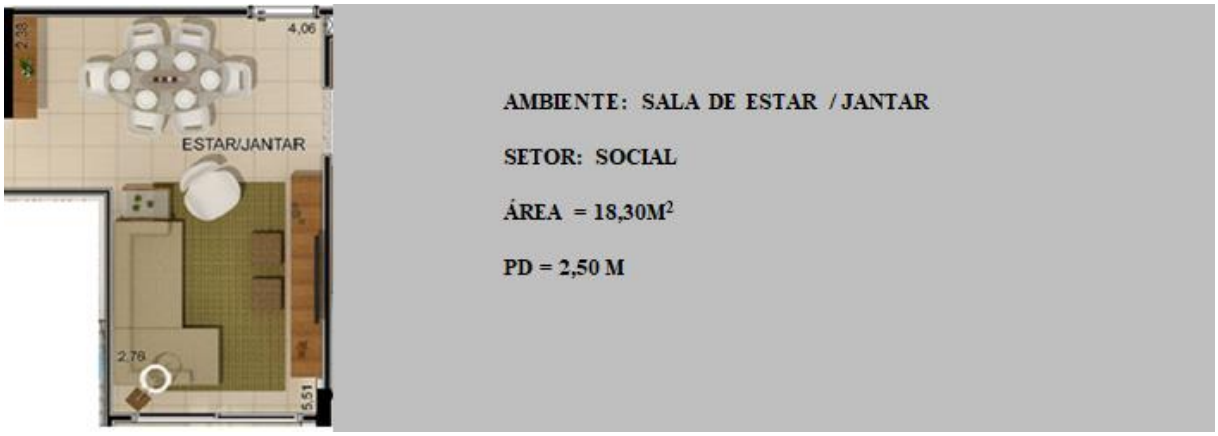
A forma geométrica do ambiente foi definida considerando os estudos da caracterização de tipologias representativas (BRANDÃO, 2002, 2003; MENDONÇA; VILLA, 2016), como os projetos de habitação social no Brasil e seu desempenho energético (TRIANA; LAMBERTS; SASSI, 2015).

Atendendo aos indicativos das tipologias e dimensões recorrentes no Brasil (BRANDÃO, 2002, 2003, 2006), nesta pesquisa optou-se por ambientes residenciais situados em edificações verticais multiresidenciais, ou seja, apartamentos com áreas úteis entre 30 m^2 e 100 m^2, representativos da produção atual no país.

Examinando os ambientes, atividades e áreas estimadas, a sala de estar/jantar foi escolhida como ambiente onde são realizadas as simulações computacionais do desempenho integrado do conforto visual e da eficiência energética. A sala de estar é um ambiente de uso múltiplo onde estão sobrepostas muitas das atividades desenvolvidas e preferências no espaço residencial.

Nos últimos dez anos, os apartamentos produzidos no Brasil possuem predominantemente a sala de estar/jantar em forma de L, com dimensões resultando em áreas que variam entre 10 m^2 e 18 m^2, aproximadamente. Se comparadas as habitações atuais com aquelas construídas anteriormente nas cidades brasileiras, é possível perceber que os imóveis mais antigos apresentavam dimensões maiores. Por isso, para fins deste trabalho, a sala de estar/jantar está sendo considerada como se possuísse área útil de aproximadamente 18 m^2 – a maior área média atual. Esse valor foi escolhido para representar um valor predominante considerando que as construções mais recentes e de mais de uma década fazem parte das cidades. A Figura 13 mostra a sala de estar/jantar adotada como modelo nas análises de desempenho da iluminação residencial.

Figura 13 - Ambiente residencial delimitado para estudo – a sala de estar/jantar



Fonte: *Google* imagens. Recortes de anúncios do mercado imobiliário da cidade de Maceió, domínio público.

3.1.2 A refletância das superfícies: materiais e cores

As superfícies que delimitam o ambiente (piso, teto, paredes) possuem características próprias, resultantes dos materiais e cores utilizadas. Elas têm uma importante influência na iluminação de ambientes. Esta pesquisa adotou o método da refletância dos materiais e cores (IES, 2011; SLL, 2001, 2009) amplamente utilizado na literatura consultada de iluminação artificial. A determinação desse parâmetro consiste no estabelecimento do equilíbrio das refletâncias das superfícies delimitadas do ambiente: o teto, a parede e o piso.

Diante da diversidade de materiais e cores, optou-se por definir a paleta que se aproxima da cor branca para determinar as refletâncias das superfícies que delimitam o modelo adotado. Esta escolha conforma um local onde as caraterísticas dos materiais e cores se aproximem de um ambiente considerado claro para o teto, parede e piso, bem como para os artefatos arquitetônicos presentes no ambiente.

Essa configuração cromática favorece as análises do desempenho visual e energético dos diferentes sistemas de iluminação artificial contidos nesse espaço, uma vez que a resposta da luz a superfícies da cor branca é amplamente estudada pela literatura consultada, contribuindo assim para observar aspectos relacionados à variabilidade da luz artificial no ambiente.

A configuração da simulação com auxílio do *DIALux evo* 8 (DIAL GMBH, 2018b) foi realizada utilizando os seguintes critérios:

3.1.2.1 As refletâncias no modelo virtual

No ambiente virtual, com o auxílio do *software DIALux evo* 8, as refletâncias foram inseridas de duas formas: I) pela modelagem paramétrica, utilizando o catálogo de materiais e cores disponíveis no *software*; II) pela configuração direta do ambiente. As duas formas foram aplicadas neste trabalho e serão discutidas a seguir.

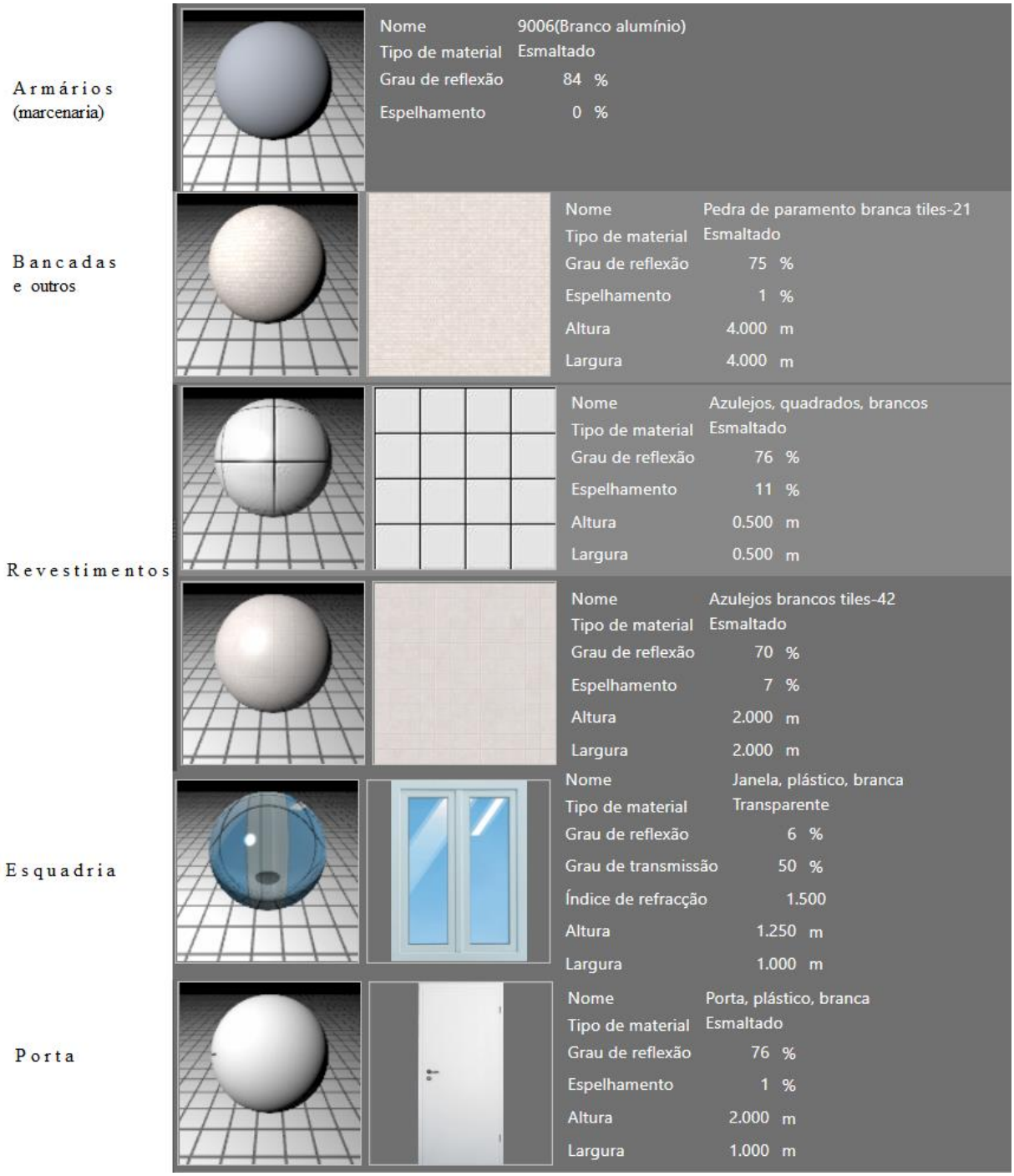
A configuração pela forma paramétrica atribuiu propriedades às superfícies, utilizando o catálogo de materiais e cores disponíveis pelo *software* (DIAL GMBH, 2018b). A modelagem paramétrica é bastante difundida nos *softwares* com aplicação em simulações computacionais em Arquitetura (MONEDERO, 2015a, 2015b).

As principais configurações de materiais e cores disponíveis no catálogo da biblioteca do *DIALux evo* 8 que foram aplicadas aos elementos construtivos, mobiliários e objetos presentes nos ambientes modelados estão agrupadas na Figura 14. Tais configurações foram escolhidas buscando atender à paleta de cores consideradas mais próximas da cor branca. Em casos isolados, durante a inserção de mobiliários e objetos no ambiente, foram realizados ajustes no grau de reflexão e espelhamento, tendo em vista a adequação à referida paleta na cor branca.

Para garantir que todos os elementos estivessem de acordo com as especificações na paleta de cores determinada para este trabalho, o método de configuração direta ou rápida foi também usado. Ele consiste na inserção imediata das refletâncias das superfícies do ambiente de forros e (ou) teto, parede e piso. Este modo foi utilizado no início da modelagem e durante os ajustes finais da construção dos modelos de simulação.

A definição dos índices de reflexão das superfícies de piso, parede e teto baseou-se na seleção dos materiais a serem utilizados no modelo. Os valores das refletâncias que se aproximavam das configurações paramétricas apresentadas anteriormente correspondem à relação **80/80/40**, para teto, parede e piso.

Figura 14 - Seleção de matérias e cores disponíveis no DIALux evo 8



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de *DIALux evo* 8. Interface do *software*.

3.1.3 Fatores humanos

As relações ente o ambiente, a luz e a cor produzem estímulos ambientais que resultam em preferências e premissas de conforto visual. Esses aspectos condicionados pelos fatores humanos são fundamentais para o bom uso dos espaços habitados. Como abordado nos

capítulos anteriores, muitos parâmetros relacionados aos fatores humanos foram amplamente pesquisados e revisados pelas mais importantes instituições internacionais que estudam a iluminação de ambientes (IES, 2011; SSL, 2009, 2013) e encontram-se instituídos nas principais normas técnicas vigentes.

Nesse contexto, a presente tese pretende identificar aquelas que seriam as melhores práticas para ambientes residenciais, relacionando os fatores humanos e estabelecendo métricas a serem perseguidas que possam contribuir para o conforto visual em ambientes e a eficiência dos sistemas de iluminação. Entre os parâmetros a serem estabelecidos, serão descritas as características relacionadas à luz e aos critérios de conforto visual.

3.1.3.1 A saúde em ambientes residenciais

Os efeitos biológicos da iluminação são ocasionados por aspectos relacionados à quantidade e à qualidade da luz, bem como à sua distribuição espectral no ambiente. Na busca pelas melhores práticas vigentes no que se refere à qualidade de luz, foi considerado pela pesquisa o uso do LED, em especial o "LED de alta eficiência". Os requisitos que melhor se aplicam a este trabalho de pesquisa estão descritos pela CLTC (2016), uma vez que estes já foram validados em residências no estado da Califórnia – EUA (CEC, 2017).

O conceito de "LED de alta eficiência" (CEC, 2017) para residências consiste num conjunto de requisitos técnicos que apresenta elevados níveis de eficiência da fonte, IRC e temperatura de cor quente. A reunião desses requisitos é considerada pioneira em estabelecer métricas de eficiência e conforto visual em residências, considerando as pesquisas a respeito dos efeitos da luz no relógio biológico humano.

A literatura consultada demonstra que a especificação adequada da temperatura de cor das fontes de luz contribui para a manutenção do ciclo atividade/descanso em ambientes residenciais (DUFFY; CZEISLER, 2009; FIGUEIRO; NAGARE; PRICE, 2018; LUCAS et al., 2014; NAGARE; PLITNICK; FIGUEIRO, 2018; REA *et al.*, 2010). Já o elevado IRC busca atender à visualização das cores, fundamental para as diversas atividades residenciais. Os requisitos desses sistemas serão abordados no item 3.1.4 Sistemas de Iluminação.

3.1.3.2 As iluminâncias requeridas

Os manuais luminotécnicos (IES, 2011; SLL, 2009) apresentam detalhadamente as atividades exercidas em função do tipo de ambiente residencial. As iluminâncias requeridas

dependem da atividade realizada, do ambiente, da idade do usuário, das preferências subjetivas e de outros fatores relacionados ao conforto visual. Já a norma brasileira de desempenho das edificações residenciais (ABNT, 2013a) especifica valores mínimos para a iluminação em todos os ambientes residenciais como sendo 100 lux. A exceção se dá na cozinha, que não deve ter menos de 200 lux.

Como os ambientes residenciais destinam-se a múltiplas atividades e estão submetidos a preferências individuais, optou-se por estabelecer o conceito de iluminância média inicial superior a 100 lux, podendo atingir outros níveis, intermediários ou superiores (p. 35), durante a formação dos cenários de luz que são examinados.

3.1.4 Sistemas de iluminação

Os requisitos relacionados à iluminação artificial residencial foram determinados considerando as fontes de luz, os sistemas de iluminação que os compõem e a sua disposição no ambiente:

3.1.4.1 Requisitos das fontes de luz

Na busca por sistemas mais apropriados para a iluminação residencial, o princípio da melhor tecnologia disponível foi escolhido de modo a conciliar as boas práticas relacionadas aos desempenhos energético e visual da iluminação de ambientes residenciais. Observando-se essas premissas, a tecnologia LED foi escolhida por apresentar características como o alto desempenho, ser amplamente estudada (IES, 2011; SSL, 2009) e possuir muitas aplicações em residências.

Buscando adequar o “LED de alta eficiência” à realidade do mercado brasileiro de iluminação, os critérios estabelecidos pelo CLTC (2016) para o setor residencial foram descritos com adaptação no IRC, ajustado para maior ou igual a 80%. Os requisitos das fontes em LED – como a temperatura e a reprodução de cor, entre outros requisitos incluídos ao desempenho energético – estão relacionados aos fatores humanos, pois a determinação das características dessas fontes congrega condições de desempenho visual almejadas. Os principais requisitos estão apresentados no Quadro 5.

Ao relacionar o indicador de Eficiência Luminosa (η) aos parâmetros de contorto visual, o código da Califórnia (CEC, 2017; CLTC, 2016) contribui para o conceito defendido nesta

tese: a iluminação artificial de ambientes residenciais necessita de indicadores integrados e que assegurem conforto visual e desempenho energético.

Quadro 5 - Principais requisitos das fontes em LED

PARÂMETROS	LIMITES
Fontes de luz:	LED
Eficiência luminosa:	**≥ 45 lúmens/W**
Temperatura de Cor:	≤ 4.000 K (preferência por 3.000 K)
IRC:	≥ 80 % (preferência por ≥ 85%)

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de CLTC, 2016.

3.1.4.2 Requisitos dos sistemas de iluminação e a sua disposição no espaço

Os sistemas de iluminação são partes integrantes dos ambientes. O efeito produzido pelos diferentes sistemas instalados depende do projeto de iluminação. Com a finalidade de tornar essas escolhas menos subjetivas, bem como buscando sistematizar e unificar essas formas de especializar a luz artificial, é fundamental definir uma lógica dentro desse repertório que associe a luz artificial e a arquitetura.

Além das classificações encontradas nos manuais (IES, 2011; SSL, 2009), utilizando critérios relacionados ao objeto e ao seu posicionamento no ambiente, existem também outras (MUROS ALCOJOR, 2012), complementares aos manuais, com ênfase no efeito luminotécnico produzido no espaço. Elas são consideradas mais amplas, se comparadas às classificações baseadas no objeto (a luminária), pois consideram a relação espaço/efeito da iluminação produzida no ambiente habitado. Essa sistematização foi considerada a mais apropriada para este trabalho, uma vez que permite a aplicação prática de infinitas possibilidades de efeito luminotécnicos – variações essas que expressam muitas preferências e necessidades do universo residencial.

Pelos motivos explicitados, optou-se pela classificação com ênfase no efeito luminotécnico produzido no espaço, que consiste na FORMA, DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO (MUROS ALCOJOR, 2012) dos sistemas de iluminação no ambiente. Neste trabalho, ela foi ampliada para que fosse possível atender à iluminação de ambientes residenciais, incluindo a especificação de LOCAIS de montagem desses sistemas contidos no ambiente.

Com esses parâmetros pretende-se obter três preferências distintas, classificadas por Muros Alcojor (2012) como efeitos com distribuição uniformes, localizados e mistos. Esses efeitos propiciam variações de iluminâncias no ambiente. Vale ressaltar que as preferências dos tipos de iluminação em ambientes residenciais (LAR) estão em consonância com a literatura técnica sobre o conforto luminoso (IES 2011; SSL, 2009, 2013).

3.1.4.2.1 Forma, Disposição, Organização e Local de montagem dos sistemas de iluminação

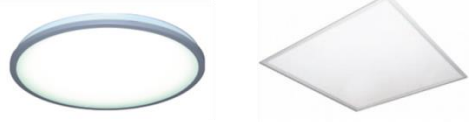
A classificação FORMA, DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO, descrita por Muros Alcojor (2012), concilia aspectos do objeto, luminária, e do ambiente enquanto efeito e disposição das luminárias no espaço.

A FORMA refere-se ao formato das luminárias mais comuns, que são pontuais, lineares, superficiais e volumétricas. A Figura 15 resume as quatro formas mais usuais e as características que as definem.

A DISPOSIÇÃO refere-se à forma de agrupar ou compor as luminárias em um conjunto unitário. As leis da *Gestalt* (KANIZSA, 1979) auxiliam visualmente a relação entre as partes e o todo, bem como a análise de linguagem e de composição arquitetônica entre o sistema e o ambiente habitado. As disposições mais comuns das formas básicas são: alinhadas, agrupadas, em malha e singular ou de estrutura própria (Figura 16).

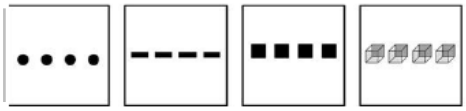
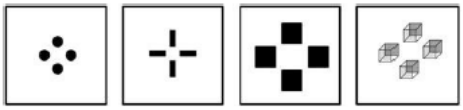
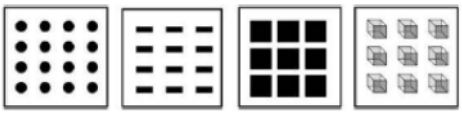
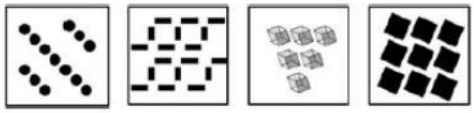
Já a ORGANIZAÇÃO é resultado da disposição, que poderá ser organizada de forma simétrica, arbitrária ou ordenada, conforme a Figura 17 a seguir.

Figura 15 - Forma das luminárias

		Pontual
	Luminárias que possuem uma forma geométrica regular, como um círculo, um quadrado, um pequeno retângulo etc., com dimensões visíveis muito pequenas em relação ao espaço (geralmente inferior a 30 cm). Podem variar pelos ângulos de concentração do fluxo e no tipo de lâmpadas.	
		Linear
	Luminárias que no seu formato apresentam uma relação entre os lados superior a 5 para 1. Podem ter uma distribuição do fluxo luminoso simétrica ou assimétrica.	
		**Superficial**
	Luminárias com forma geométrica regular (círculo, quadrado, retângulo ou paralelepípedo) com dimensões visíveis maiores que 30 cm. (Proporções retangulares inferiores de 3 para 1 entre seus lados). O fluxo luminoso apresenta uma ampla área, geralmente acompanhando a superfície das luminárias.	
		Volumétrica
	Luminárias que apresentam volumes de luz visíveis. O fluxo luminoso emite luz em todas as direções.	

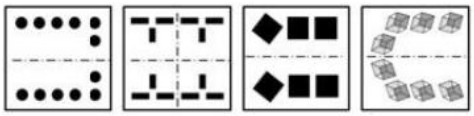
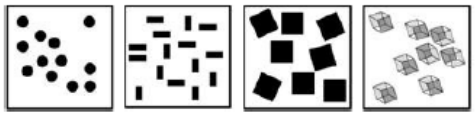
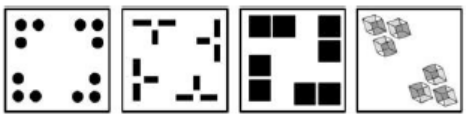
Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Muros Alcojor, 2012.

Figura 16 - Disposição das luminárias no ambiente

 **Alinhada**	Luminárias dispostas em uma diretriz linear separada por uma determinada distância.
 **Agrupada**	As luminárias são organizadas configurando uma figura concreta e reconhecível: axial, geométrica, abstrata ou sob qualquer forma, que pode, por repetição, compor todo o espaço.
 **Malha**	As luminárias definem uma malha geométrica ou uma retícula regular que responde às suas próprias leis geométricas. A sua leitura não é de elemento unitário, mas de estrutura indefinida, que pode se estender por extensão a qualquer espaço.
 **Singular ou de estrutura própria**	As luminárias formam uma estrutura singular, que é percebida como uma unidade compacta, não classificável entre as formas de disposição anteriores.

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Muros Alcojor, 2012

Figura 17 - Organização das luminárias no ambiente

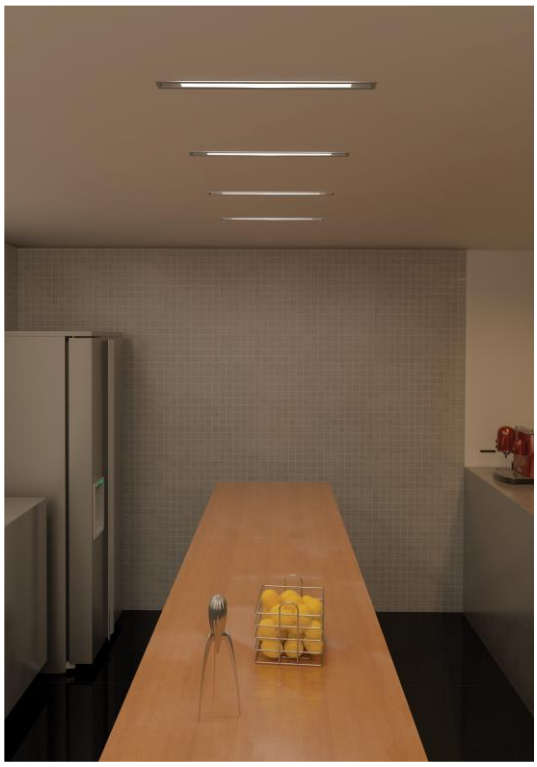
 **Simétrica**	Arranjos de luminárias ocorrem por meio de um eixo de simetria. O eixo pode funcionar tanto para a organização de luminárias quanto para a configuração da geometria do próprio espaço.
 **Arbitrária**	Arranjos da luminária são organizados no espaço sem um critério formal, e sim arbitrária e ocasionalmente.
 **Ordenada**	Quando a organização possui um padrão identificável, uma repetição que permite a sua extensão a todo o espaço com facilidade.

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Muros Alcojor, 2012.

As formas apresentadas são utilizadas para a organização espacial na arquitetura, permitindo reconhecer nessa classificação alguns critérios compositivos entre a forma dos sistemas e os ambientes habitados. A Figura 18 demonstra a aplicação da classificação FORMA, DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO em ambientes residenciais.

Figura 18 - Aplicação da classificação Forma, Disposição e Organização em ambientes residenciais

FORMA: **Pontual**
DISPOSIÇÃO: **Agrupada**
ORGANIZAÇÃO: **Ordenada**



FORMA: **Linear**
DISPOSIÇÃO: **Alinhada**
ORGANIZAÇÃO: **Ordenada**

Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Iluminar, 2018.

A classificação descrita por Muros Alcojor (2012) foi ampliada com o objetivo de contemplar a diversidade de arranjos existentes nos ambientes residenciais. Para tal, foi utilizado o princípio FORMA, DISPOSIÇÃO E ORGANIZAÇÃO, além do trabalhado por Muros Alcojor (2012), que corresponde aos LOCAIS de montagem dos sistemas de iluminação: (I) planos horizontais, o teto e piso; (II) planos verticais, as paredes; e (III) outros arranjos no espaço, possíveis de organização dos sistemas no ambiente.

A Figura 19 apresenta exemplo de um ambiente residencial no qual os sistemas de iluminação encontram-se instalados nos três LOCAIS de montagem. Vale ressaltar que o piso

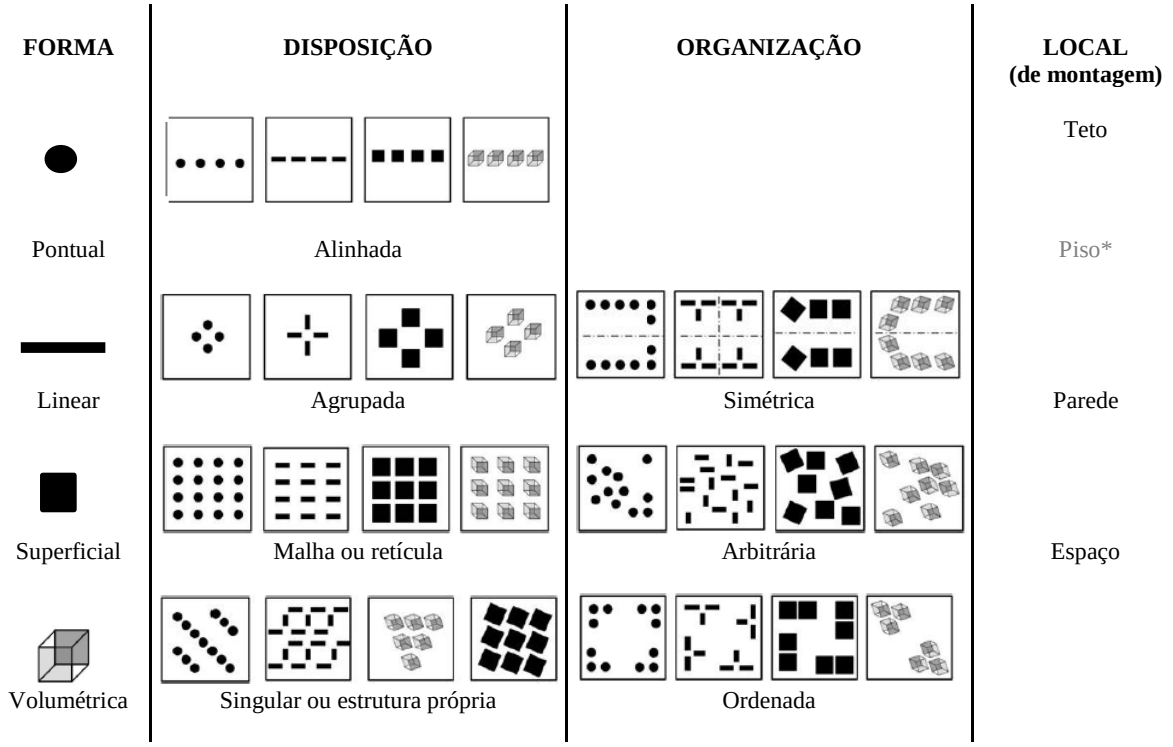
não foi incluído por ser considerado pouco recorrente na tipologia residencial a que se propõe o estudo.

Figura 19 - Locais de montagem das luminárias no teto, na parede e no espaço

Fonte: Autora, 2014. Adaptado de Degra, 2014.

A sistematização dos componentes definidos como satisfatórios para expressar a iluminação artificial dos ambientes é regida pela classificação, de modo adaptado, da FORMA, DISPOSIÇÃO, ORGANIZAÇÃO e LOCAL de montagem dos sistemas de iluminação no ambiente, critérios estes de composição que são resumidos na Figura 20.

Figura 20 - Forma, Disposição, Organização no Local de montagem



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de Muros Alcojor, 2012.
Nota: * O LOCAL de montagem formado pelo piso não foi incluído no estudo.

3.1.4.2.2 Sistemas de iluminação não visíveis ou sancas

Os sistemas classificados denominados não visíveis encontram-se presentes nas residências. Por esse motivo, optou-se por incluir aspectos dessa forma de iluminar nos arranjos a serem formados.

A forma de iluminar consiste em inserir fontes de luz embutidas em móveis sancas, remates aplicados entre a parede e o teto, a parede e o piso, ou isoladamente no teto, na parede, no piso, de tal forma que os sistemas de iluminação não são visíveis ao usuário do ambiente. Ou seja, o que é percebido são os efeitos produzidos por esses sistemas no espaço.

3.1.4.3 Seleção dos sistemas de iluminação

A escolha de sistemas de iluminação utilizou o catálogo de luminárias disponibilizadas no *DIALux evo* 8 com o auxílio da ferramenta *LUMsearch* DIAL (DIAL GMBH, 2018d). No banco de dados do *LUMsearch* DIAL, encontram-se empresas que possuem dados de livre acesso e patronizados pela IES (2011). Preferencialmente, optou-se pelos sistemas luminotécnicos disponibilizados por empresas nacionais e empresas internacionais que atuam

no país e que possuem seu banco de dados disponibilizado pelo *LUMsearch* DIAL (DIAL GMBH, 2018d).

Para garantia da produção científica isenta de preferências pessoais ou aspectos mercadológicos, optou-se por omitir as marcas de fabricantes relacionadas aos produtos de iluminação utilizados nas análises de desempenhos visual e energético, principalmente durante a comparação do desempenho de cenários formados.

As luminárias e as suas características fotométricas foram organizadas pela FORMA básica e pelo cenário em que se acham inseridas, aspecto este abordado a seguir, por meio da composição de cenários de luz em ambientes residenciais.

3.1.4.4 Cenários de luz

As diversas atividades e preferências em residências demandam a criação de diferentes soluções luminotécnicas para um mesmo ambiente. Muitas delas congregam vários tipos de sistemas de iluminação destinados a atender a funções específicas. O conceito de cenários de luz é definido como um conjunto de configurações no ambiente, dedicados a atender às necessidades de iluminação e às particularidades desse espaço.

Para alcançar os objetivos deste trabalho, foi desenvolvida uma proposta de cenário de luz que agrupa os sistemas de iluminação pela função que exercem nos ambientes. Esses cenários foram divididos em três grupos que se relacionam entre si: Luz 1 – PROTAGONISTA; Luz 2 – COMPLEMENTAR à protagonista; e Luz 3 – SUPLEMENTAR. As características de cada grupo estão descritas no Quadro 6.

Quadro 6 - As funções estabelecidas para os cenários de luz

Luz 1: PROTAGONISTA	Visa atender às necessidades visuais e funcionais desenvolvidas no ambiente.
Luz 2: COMPLEMENTAR	Complementa a luz protagonista no atendimento de outras atividades visuais que requerem maior luminosidade, destaque de objetos, e outros aspectos relacionados ao destaque da iluminação.
Luz 3: SUPLEMENTAR	Compreende a iluminação produzida com a finalidade de efeitos estéticos e ocasionais.

Fonte: Autora, 2018.

Os cenários de luz são definidos pela combinação entre os grupos de luz criados. Com esse princípio, admite-se apenas um tipo de sistema no ambiente, como também os três sistemas juntos de forma integrada.

Os critérios de FORMA, DISPOSIÇÃO, ORGANIZAÇÃO e LOCAL[3] de montagem para composição dos sistemas de iluminação em ambientes, juntamente com o conceito de cenário de luz, favorecem a criação de uma vasta variedade de modos de iluminar ambientes residenciais, aspecto esse fundamental para a matriz composta pela combinação de diferentes parâmetros que serão examinados.

O *DIALux evo* disponibiliza uma ferramenta denominada "cenários de luz", que propicia a separação de sistemas de iluminação e a criação de cenários (DIAL GMBH, 2018b). Tal ferramenta favorece a aplicação da metodologia proposta no dia a dia dos profissionais da arquitetura, pois está disponível de forma ativa no *software*. Dessa maneira, amplia a possibilidade de testes de soluções e arranjos de sistemas de iluminação e preferências de acordo com as necessidades do projeto. Os cenários propostos serão descritos a seguir.

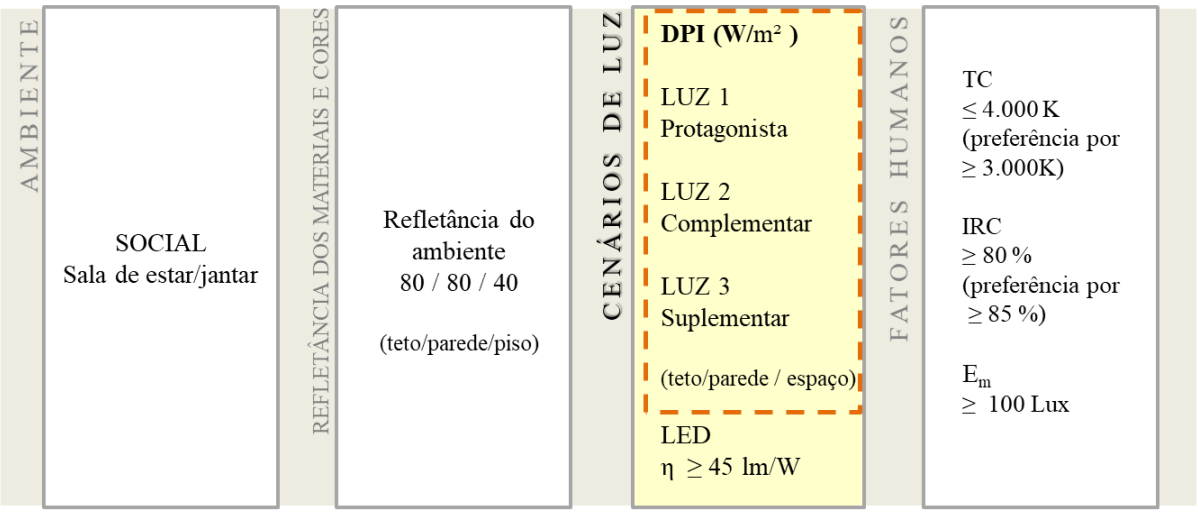
3.2 Análise paramétrica dos cenários investigados

Os parâmetros de análise referentes ao ambiente, à função da luz produzida pelos sistemas de iluminação artificial, à refletância das superfícies dos materiais e das cores, e aos fatores humanos compõem os modelos de simulação do desempenho energético da iluminação em ambientes residenciais com o auxílio do computador. Os parâmetros estabelecidos no modelo-base foram resumidos na (Figura 21)

Nesta tese foram eleitos quatro parâmetros que influenciam na iluminação artificial de ambientes residenciais, os quais são utilizados na configuração do modelo de simulação. A matriz se concentra na variabilidade do desempenho energético dos ambientes residenciais proporcionados por diferentes sistemas de iluminação, com ênfase nos três cenários de luz (LUZ PROTAGONISTA, LUZ COMPLEMENTAR e LUZ SUPLEMENTAR) e suas possíveis variações.

[3] Ver item 3.1.4.2.1 FORMA, DISPOSIÇÃO, ORGANIZAÇÃO e LOCAL de montagem dos sistemas de iluminação.

Figura 21 - Parâmetros do modelo base



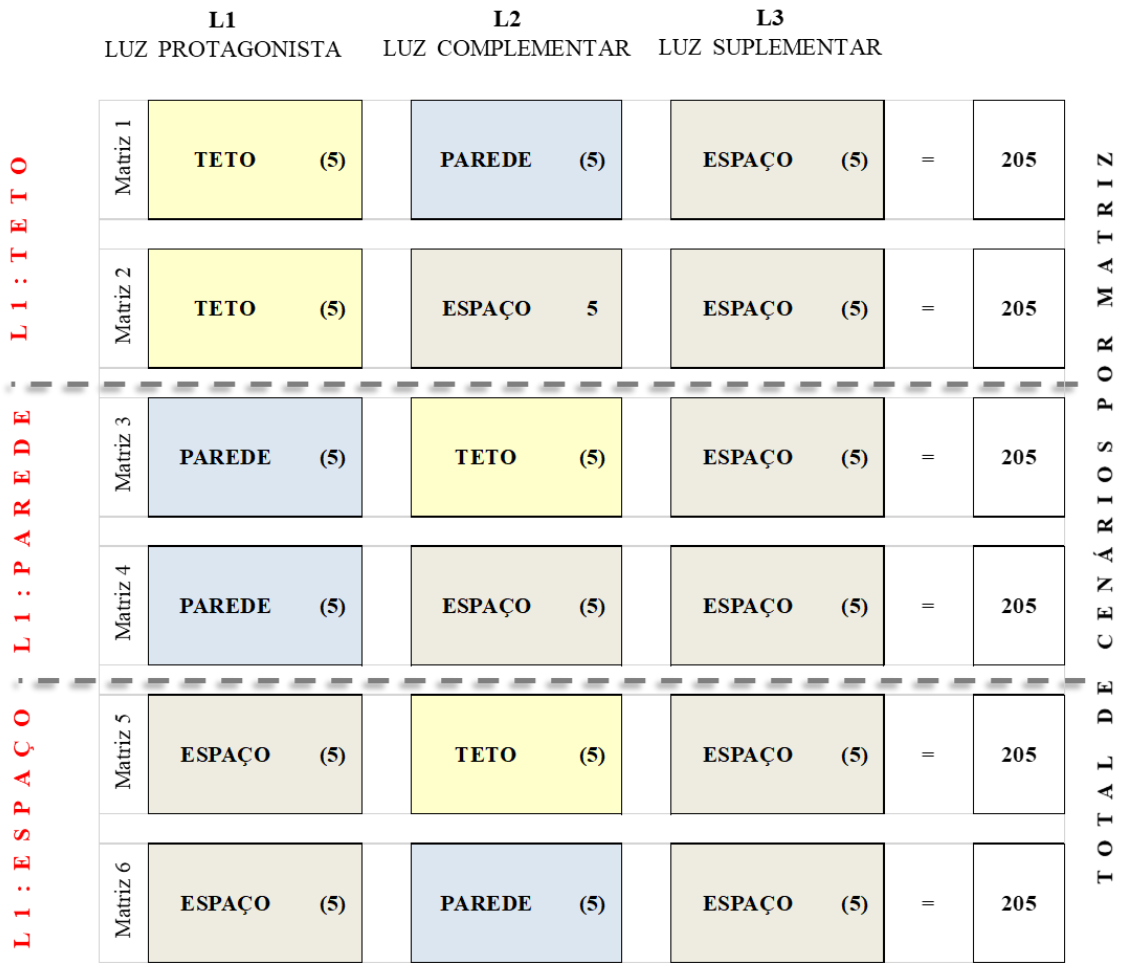
Fonte: Autora, 2018.

3.2.1 A matriz com ênfase nos cenários de luz

A sala de estar/jantar foi escolhida como objeto de estudo por se constituir no ambiente mais representativo da residência. É o local onde ocorrem múltiplas atividades e onde se manifestam as preferências e particularidades do universo residencial. Por esse motivo, foi organizada uma matriz apresentando arranjos dos sistemas de iluminação artificial seguindo a classificação quanto à FORMA, DISPOSIÇÃO, ORGANIZAÇÃO e LOCAL de montagem (no **teto**, na **parede** e no **espaço)**, como descrito no item 3.1.4.2 Requisitos dos sistemas de iluminação e a sua disposição no espaço.

No ambiente sala de estar/jantar, propuseram-se cinco arranjos por tipo de sistema luminotécnico como LUZ PROTAGONISTA. Foram então aplicadas diferentes disposições e organizações para os variados locais: no teto, na parede e no espaço. Os mesmos critérios foram utilizados para os sistemas agrupados como COMPLEMENTAR ao protagonista, realizando a classificação de FORMA, de DISPOSIÇÃO e de ORGANIZAÇÃO no teto, na parede e no espaço, com cinco exemplos por LOCAIS de uso. Igualmente ocorreu com a iluminação SUPLEMENTAR. Dessa maneira, a combinação entre os sistemas de iluminação possibilitou a criação de aproximadamente mil cenários de luz para a sala de estar/jantar. A Figura 22 resume a composição dos cenários formados para a sala de estar/jantar.

Figura 22 - Composição dos cenários de luz na sala de estar/jantar



Fonte: Autora, 2018.

Foram também investigadas outras possibilidades de interação, como, por exemplo, a sua relação com a LUZ COMPLEMENTAR, instalada em diferentes locais de montagem – conforme demonstrado na Figura 23. Na ausência da LUZ PROTAGONISTA, esses sistemas podem assumir o atendimento de níveis de iluminamento dedicado às atividades exercidas.

Figura 23 - Matriz formada pelos cenários com a função de Luz Complementar, utilizando Locais distintos de montagem

Fonte: Autora, 2018.

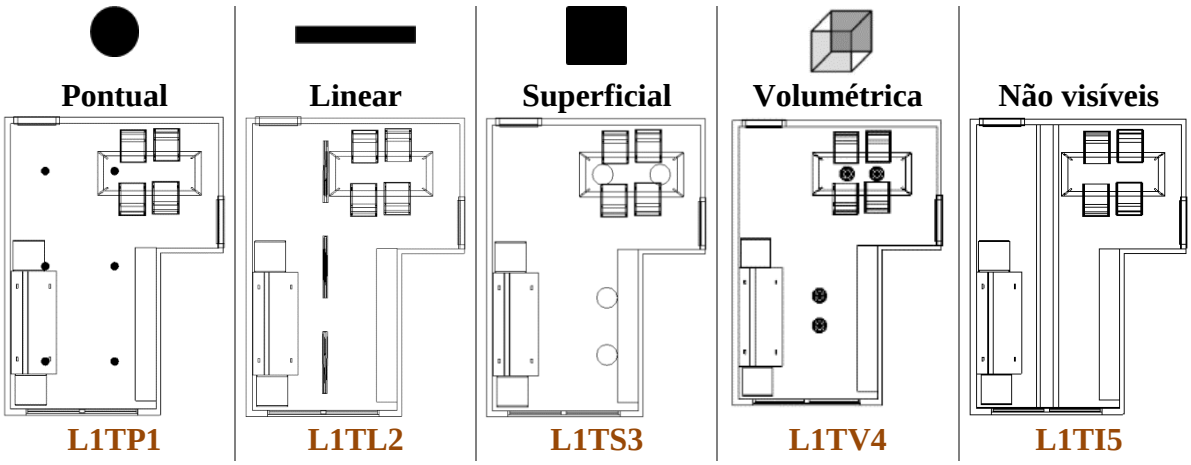
3.2.2 Grupos formados com a luz atuando de forma Protagonista na sala de estar/jantar

Os sistemas que compõem a LUZ PROTAGONISTA têm como característica o atendimento de aspectos funcionais e formais da iluminação, necessários para o uso do ambiente. Para compor esses cenários, optou-se pela criação de cinco cenários diferentes e determinados, utilizando o critério FORMA, DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO dos sistemas de iluminação, nas quatro FORMAS visíveis apresentadas pelos sistemas de iluminação: pontual, linear, superficial e volumétrica, acrescida das sancas de luz. Esses arranjos estão instalados em três LOCAIS distintos – o teto (Figura 24) e a parede (Figura 25) – e posicionados em diferentes locais do espaço (Figura 26)

Como no caso das sancas de luz (por definição, embutidas), não existe essa situação localizada no espaço; a exemplo do que ocorre com as demais luminárias, foram examinadas as condições localizadas no teto e na parede.

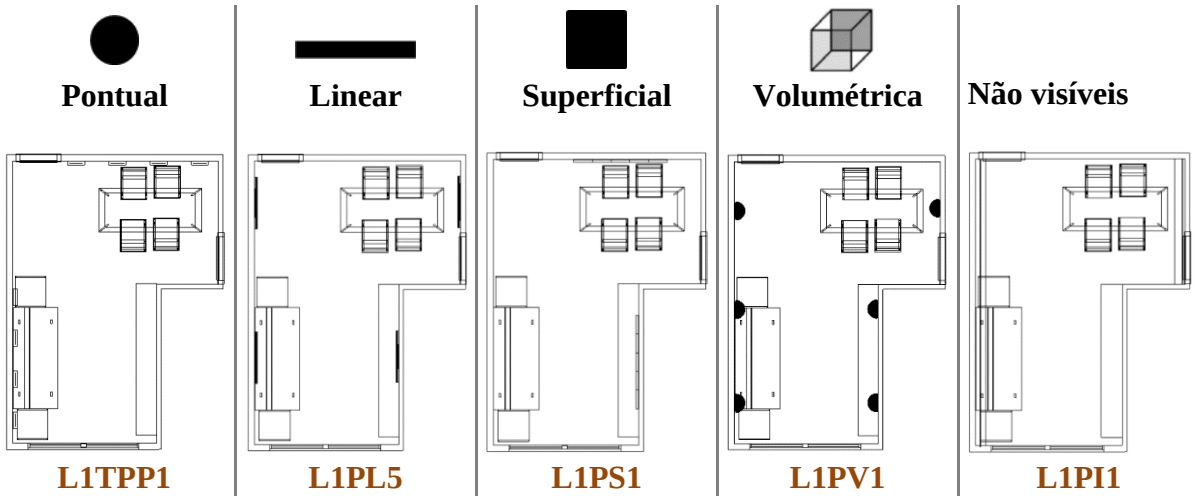
Os arranjos apresentados compõem o grupo denominado PROTAGONISTA. Mais adiante eles serão relacionados com o grupo dos cenários que compõem a LUZ COMPLEMENTAR e a LUZ SUPLEMENTAR.

Figura 24 - Cenários para a Luz Protagonista no teto[4]



Fonte: Autora, 2018.

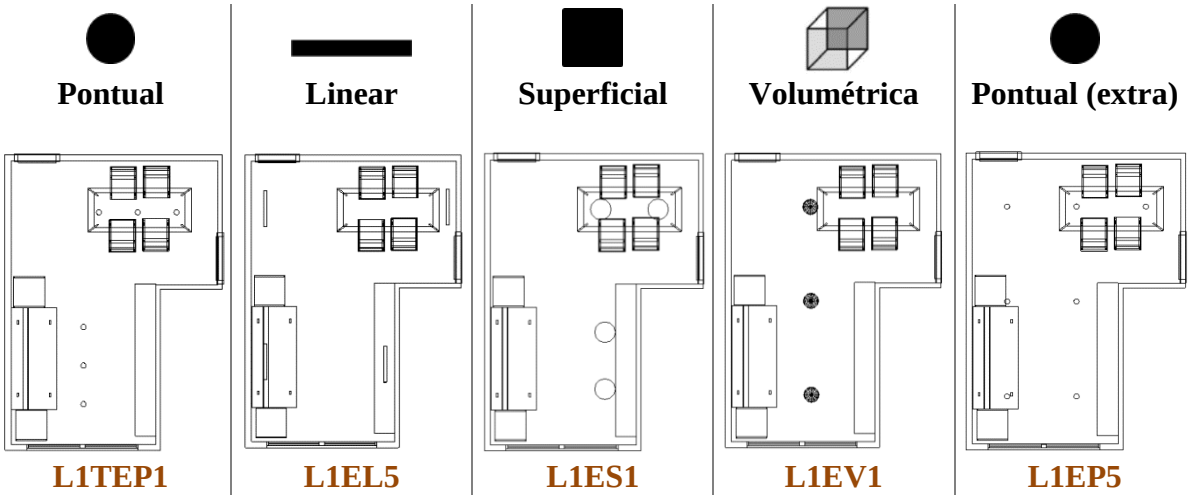
Figura 25 - Cenários para a Luz Protagonista na parede[5]



Fonte: Autora, 2018.

[4] Ver Anexo A.
[5] Ver Anexo B.

Figura 26 - Cenários para a Luz Protagonista no espaço[6]



Fonte: Autora, 2018.

A sigla utilizada para identificar cada cenário localiza-se na base e representa a combinação da função da luz, local de instalação e a FORMA da luminária, seguida da numeração correspondente a cada cenário. Como exemplo, L1TP1 refere-se à função da LUZ PROTAGONISTA (L1), localizada no teto (T), utilizando sistemas de iluminação pontual (P), e o número correspondente ao cenário examinado 1. Essas siglas serão mais bem descritas no item 3.3.2 (p. 91).

Nos Anexos A, B e C encontram-se agrupadas as informações correspondentes aos diferentes cenários de luz apresentados como uma imagem virtual do efeito gerado no ambiente, as iluminâncias obtidas, além dos dados luminotécnicos, tais como as características de cada sistema apresentado.

3.2.3 Grupos formados com a luz atuando de forma Complementar na sala de estar/jantar

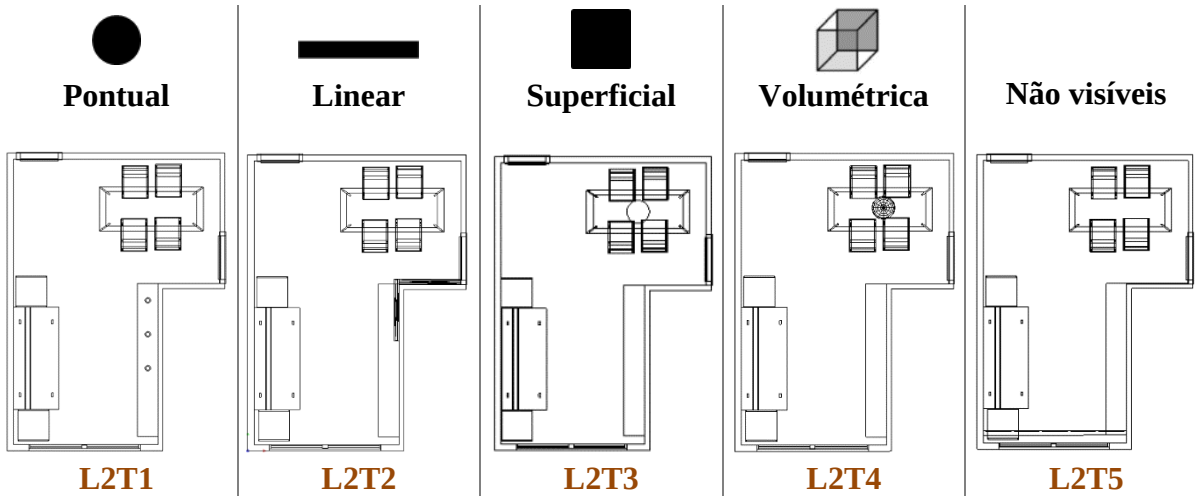
A LUZ COMPLEMENTAR é uma importante estratégia para ambientes que possuem múltiplos usos e preferências, como é o caso da sala de estar/jantar. Nesse sentido, a iluminação complementar se destaca, pois eleva a iluminância em áreas, espaços ou planos que necessitam ser iluminados. Foram definidos cinco arranjos que serão relacionados de modo complementar à iluminação protagonista. Os arranjos definidos para compor o grupo denominado de Luz 2

[6] Ver Anexo C.

estão resumidos nas figuras abaixo, instalados no teto (Figura 27), na parede (Figura 28) e no espaço (Figura 29).

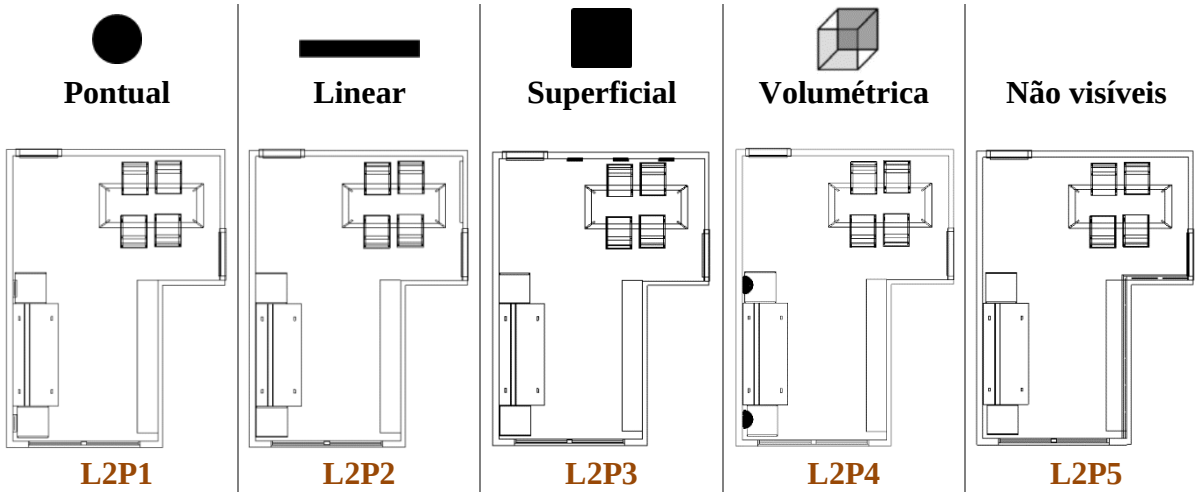
Como os sistemas de iluminação do tipo não visível são representativos nesse grupo, o efeito sanca encontra-se presente no grupo Luz 2, com os sistemas de iluminação organizados no teto e na parede. O grupo resultante da LUZ COMPLEMENTAR no espaço apresenta o quinto cenário com forma pontual, uma vez que as características das sancas de luz não se aplicam para a instalação no espaço.

Figura 27 - Cenários para a Luz Complementar no teto[7]



Fonte: Autora, 2018.

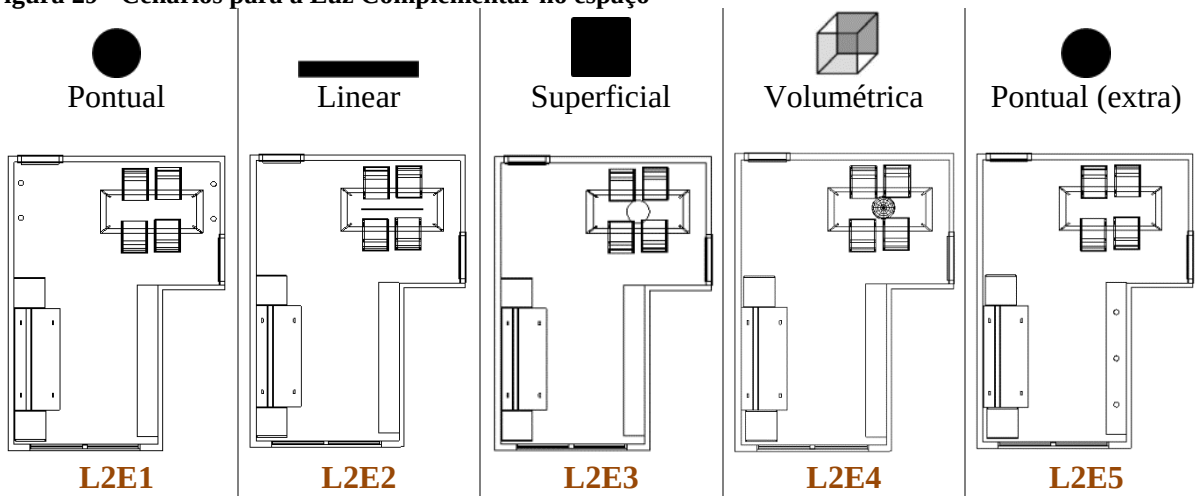
Figura 28 - Cenários para a Luz Complementar na parede[8]



Fonte: Autora, 2018.

[7] Ver Anexo D.
[8] Ver Anexo E.

Figura 29 - Cenários para a Luz Complementar no espaço[9]



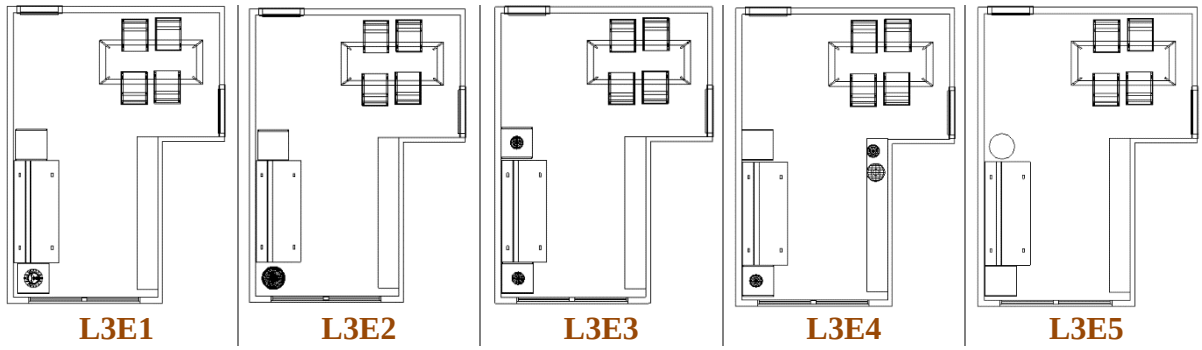
Fonte: Autora, 2018.

3.2.4 Grupos Formados com a luz atuando de forma Suplementar na sala de estar/jantar

A LUZ SUPLEMENTAR tem a função de ampliar ou completar aspectos da iluminação do ambiente, seja por questões estéticas, meramente formais ou funcionais, seja por gosto pessoal. Possui assim uma vasta aplicação em ambientes como a sala de estar/jantar.

A Luz 3 reúne cinco soluções luminotécnicas para a sala de estar/jantar (Figura 30), buscando sempre fazer com que se relacione com os demais sistemas apresentados anteriormente. Os cenários possuem como característica a disposição das fontes de luz por meio de uma organização própria no espaço, em um local qualquer.

Figura 30 - Cenários para a Luz Suplementar no espaço[10]



Fonte: Autora, 2018.

[9] Ver Anexo F.
[10] Ver Anexo G.

O conjunto de cenários apresentados anteriormente não esgota as possibilidades de configuração dos sistemas de iluminação, permitindo diferentes alternativas daquelas utilizadas na formação dos grupos examinados, com variantes dos cenários utilizados. Exemplos dessas variantes serão discutidos no item 3.6 Ajustes na distribuição dos sistemas de luz nos cenários.

3.3 As análises de desempenho integrando as simulações

As análises de desempenho visual e energético dos cenários considerados foram realizadas de duas formas. A primeira trata das análises relativas às iluminâncias do ambiente. A segunda trata da eficiência energética dos diferentes cenários examinados.

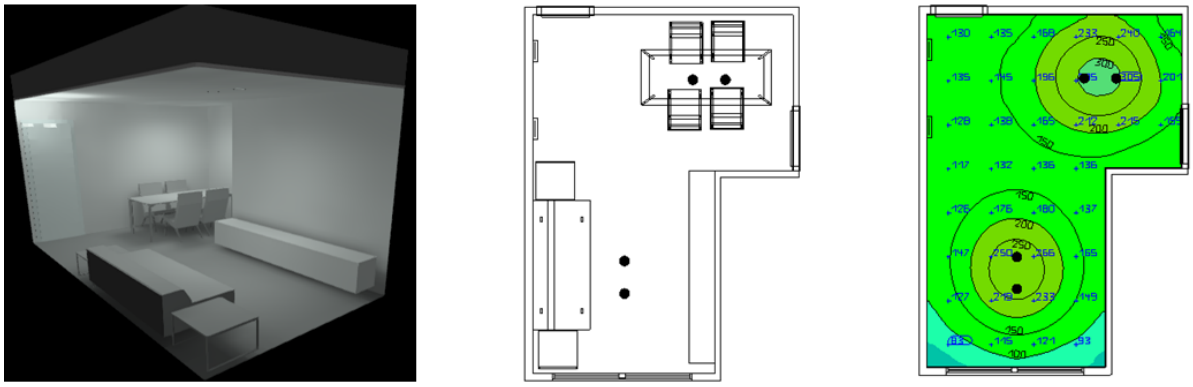
Inicialmente foi estabelecido como critério para os modelos o atendimento das métricas de conforto visual descritas no item 3.1.3 Fatores humanos. Assim, todos os modelos simulados tiveram por base o atendimento de tais métricas, assegurando que as iluminâncias, temperatura de cor e IRC recomendadas pela literatura consultada sejam alcançadas. Em seguida, os referidos modelos foram simulados no *DIALux evo* com a finalidade de avaliar seu desempenho energético de acordo com a DPI obtida na simulação. O resultado de cada modelo pode ter seu desempenho em relação à eficiência energética comparado com os demais modelos, uma vez que todos atendem ao critério de conforto visual.

3.3.1 Desempenho do conforto visual no ambiente

Os procedimentos de cálculo das iluminâncias no ambiente virtual seguem os parâmetros descritos no *IES* (2011) item *10.2 Calculating Illuminance, Luminance, and Flux*, de forma adaptada pelos desenvolvedores do *DIALux evo* 8 (DIAL GMBH, 2018b).

As análises de conforto visual integradas ao modelo de simulação correspondem às iluminâncias obtidas nas simulações. Eles permitem a visualização gráfica do efeito produzido no ambiente e o desempenho expresso pelas iluminâncias obtidas no modelo. Como resultado, são apresentados três tipos de imagens gráficas: I) do efeito visual e luminotécnico virtual, também chamado de imagens reais; II) do arranjo dos sistemas de iluminação utilizados na solução espacial; III) gráfico formado pelas curvas de isoiluminância, obtido pela interpolação das iluminâncias contidas no plano de referência (Figura 31).

Figura 31 - Apresentação dos resultados com auxílio do DIALux evo 8



(I) (II) (III)

Fonte: Autora, 2018.

O plano de trabalho considerado é o horizontal e está situado a um metro de altura, abrangendo toda a extensão do ambiente. Os resultados são agrupados em uma malha de pontos para medição das iluminâncias contidos no ambiente, seguindo procedimentos descritos na DIN EN 12464-1 (CEN, 2011).

3.3.2 Desempenho energético

A Densidade de Potência da Iluminação (DPI) e a Densidade de Potência Relativa (DPIR) são processadas automaticamente pelo *DIALux evo* 8 durante a simulação dos ambientes. Os resultados são disponibilizados nos relatórios técnicos emitidos pelo programa. Para obter os mais de mil arranjos criados, optou-se por procedimentos divididos em quatro etapas, a saber:

(I) Simulação dos cenários, obtidos pela função da iluminação no ambiente (PROTAGONISTA, COMPLEMENTAR e SUPLEMENTAR), correspondendo aos modelos anteriormente apresentados (Figura 22, p. 84);

(II) Formação de um banco de dados digital agrupando os resultados do desempenho energético dos cenários mencionados no item anterior, em DPI;

(III) Combinação simples do desempenho energético dos diferentes cenários citados, utilizando para esse fim as planilhas eletrônicas;

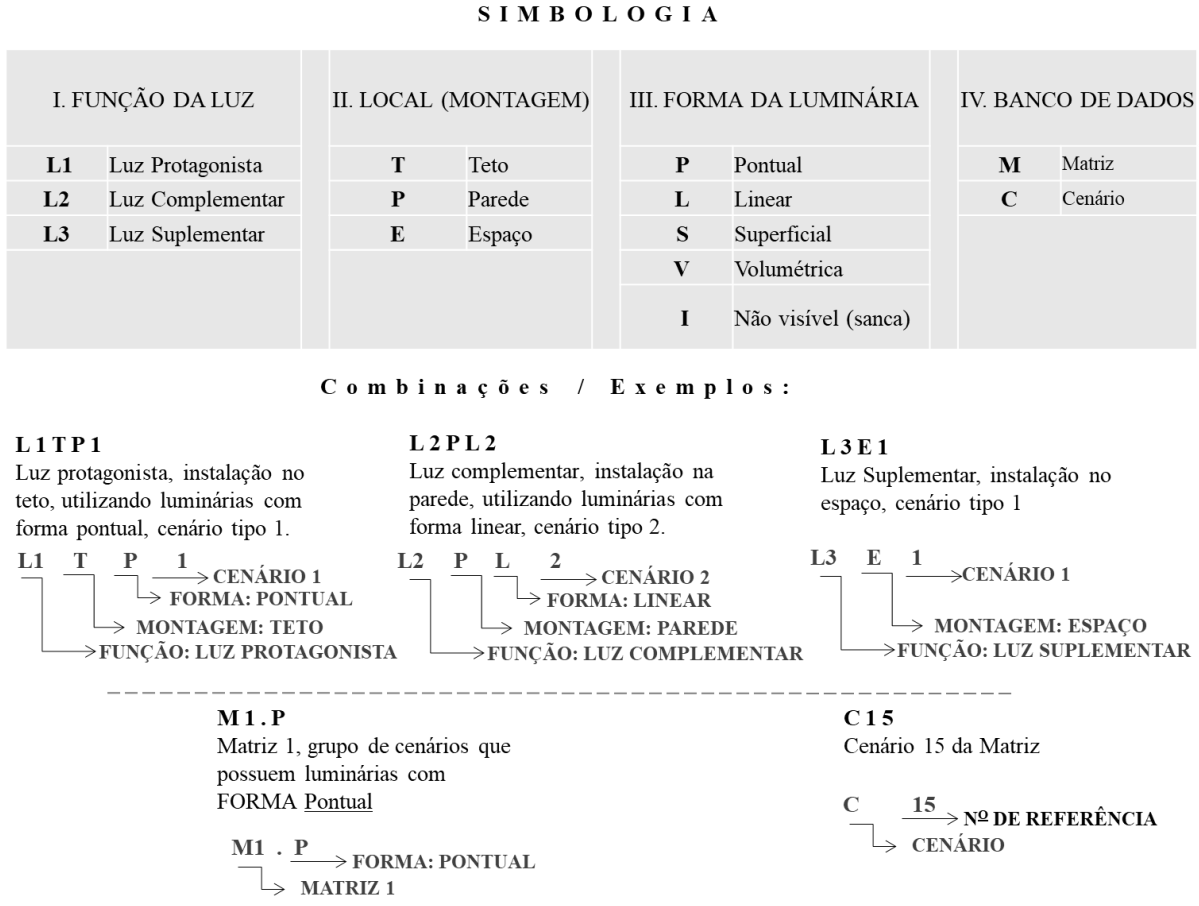
(IV) Representação gráfica dos resultados, utilizando gráficos do tipo *Heatmap*.

A quarta e última etapa constitui o cerne da tese, onde se acha representado graficamente o desempenho energético das várias alternativas de projeto, considerando os impactos decorrentes do uso de diferentes funções, arranjos e localização das luminárias no ambiente.

3.3.2.1 Identificação dos modelos simulados

As DPIs resultantes das simulações dos diferentes cenários foram organizadas em planilha eletrônica. Para tal, foram utilizadas abreviações que caracterizam os cenários, tais como (I) a Função da iluminação; (II) o Local de montagem; (III) a Forma da luminária, seguida de um valor numérico identificando cada cenário. Essas abreviações encontram-se listadas na Figura 32.

Figura 32 - Simbologia que se refere a função, local de montagem e forma da luminária



Fonte: Autora, 2018.

Os grupos formados pela função da LUZ SUPLEMENTAR apresentam a abreviação resumida, apenas: (I) à Função da iluminação; (II) ao Local de montagem, seguido de um valor numérico atribuído ao cenário (Figura 32). Essa simbologia será adotada ao longo da tese.

A programação para a formação dos novos cenários foi feita com o auxílio da ferramenta computacional *Shell script, no sistema operacional Linux* (JARGAS, 2008; NEVES, 2017), a fim de realizar o somatório dos arranjos criados. A DPI de ambientes é o resultado do somatório dos sistemas de iluminação definidos na matriz.

A programação por *script* (JARGAS, 2008; NEVES, 2017) propicia a execução de tarefas consideradas rotineiras, por meio de um arquivo executável de *script* contendo comandos específicos, como o somatório dos parâmetros definidos na matriz desta tese.

O método que considera o somatório dos sistemas de iluminação parciais não se aplica para DPI_R. Por esse motivo, optou-se por apresentar a DPI_R apenas nos resultados dos cenários isolados que compõem as luzes PROTAGONISTA, COMPLEMENTAR e SUPLEMENTAR.

Os valores referentes à DPI do ambiente foram agrupados em planilhas eletrônicas, conforme a matriz paramétrica (Anexo H). Após a finalização de todos os cenários de luz no modelo virtual da sala de estar, foram reunidos os desempenhos energéticos, utilizando-se a ferramenta gráfica do tipo *Heatmap.* Essa ferramenta consiste em:

3.4 Representação gráfica dos resultados

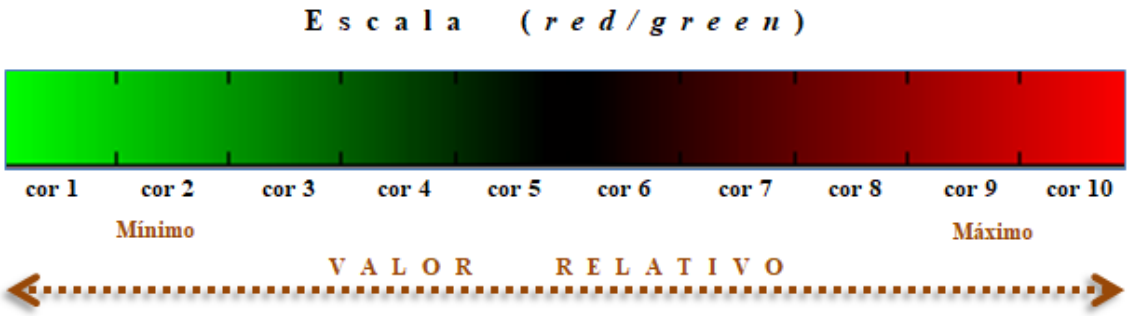
Os resultados obtidos na simulação paramétrica foram agrupados utilizando a ferramenta estatística do tipo *Heatmap* (FRIENDLY, 1994; METSALU; VILO, 2015; WILKINSON; FRIENDLY, 2009). O *Heatmap* é ferramenta gráfica de organização e espacialização dos resultados que permite traçar padrões em um pequeno espaço gráfico, conciliando aspectos quantitativos e qualitativos (WILKINSON; FRIENDLY, 2009).

O algoritmo utilizado no *Heatmap* agrupa linhas e colunas em conjunto por similaridade, resultando em um mosaico organizado hierarquicamente por desempenho, e permite a comparação com as partes integrantes do mosaico de cores. Os procedimentos de cálculo que serviram para a determinação da matriz tipo *Heatmap* estão descritos na literatura consultada (FRIENDLY, 1994; METSALU; VILO, 2015; WILKINSON; FRIENDLY, 2009).

Os gráficos foram trabalhados no conceito de tempo real, gerados com o auxílio da ferramenta *web* do pacote *gplots* da *R Project for Statistical Computing* (R FOUNDATION, 2017). Nas análises de agrupamentos optou-se pela distância euclidiana, método mais usual, descrito no manual do *software* (R DEVELOPMENT, 2005).

A escala de cores definida é a vermelho/verde (*red/green*), utilizada na ordem decrescente. Optou-se também pela representação dos dados em dez faixas de cores, usando a paleta selecionada, conforme mostrado na Figura 33. A escala cromática apresentada no eixo x representa a gradação em DPI para o conjunto de cenários avaliados. Nela, os menores valores aparecem na cor verde e os mais altos estão em vermelho. Os cenários intermediários são representados na paleta de cores que varia do verde ao vermelho.

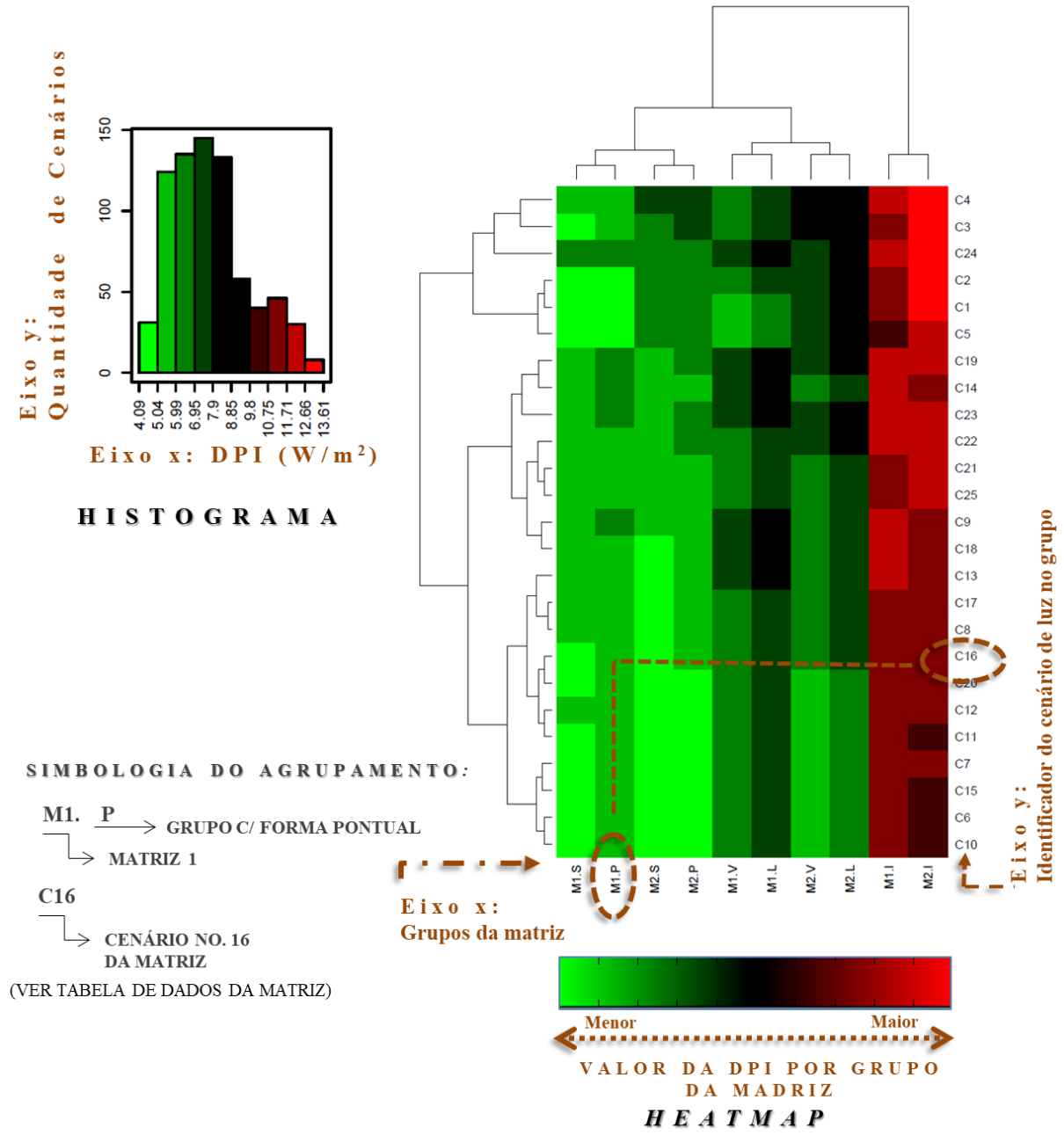
Figura 33 - Paleta de cores (red/green) utilizadas nos modelos em Heatmap



Fonte: Autora, 2018.

O *Heatmap* disponibiliza duas ferramentas de análise do indicador: o **histograma de cores** e o **gráfico de calor,** ou *Heatmap*, identificando os melhores e os piores desempenhos (Figura 34). O histograma de cores informa a quantidade de cenários por faixa de DPI. Já o *Heatmap* está organizado pelo agrupamento das diferentes matrizes simuladas (eixo x), em função dos diferentes cenários examinados (eixo y).

Figura 34 - Resultados gráficos utilizando o histograma e Heatmap



Fonte: Autora, 2018.

O *Heatmap* mostra o mosaico gráfico de cores regido pelos valores apresentados no histograma. No eixo x do *Heatmap* encontram-se ordenados os grupos de cenários de luz classificados pelos parâmetros investigados (FORMA, DISPOSIÇÃO, ORGANIZAÇÃO e LOCAL), que podem ser identificados pelas abreviações utilizadas anteriormente ou apenas pela identificação da matriz de simulação. Já o eixo y mostra o identificador numérico do cenário em relação aos grupos apresentados no eixo x (Figura 34).

O *Heatmap* organiza os cenários por desempenho nos dois eixos do gráfico por agrupamento hierárquico. Os grupos que apresentam os menores valores encontram-se na esquerda, e os maiores na direita. No eixo y, os cenários também são ordenados seguindo o tratamento estatístico que agrupa linhas e colunas em conjunto por similaridade. Como exemplo, a Figura 34 demonstra a representação gráfica definida para as análises de desempenho energético, e a Figura 35 demonstra a reunião dos cenários no banco de dados digital.

Figura 35 - Banco de dados da Matriz 1

M1.P- MATRIZ 1 GRUPO PONTUAL

CENÁRIO C16

	M1 PONTUAL M1.P			DPI	M1 LINEAR M1.L			DPI	M1 SUPERFICIAL: M1.S			DPI	M1 VOLUMÉTRICA M1.V			DPI	M1 NÃO VISÍVEL M1.I			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1TP1	L2PP1	L3E1	5,45	L1TL2	L2PP1	L3E1	7,28	L1TS3	L2PP1	L3E1	4,96	L1TV4	L2PP1	L3E1	6,39	L1TI5	L2PP1	L3E1	10,99	C1
C2	L1TP1	L2PP1	L3E2	5,56	L1TL2	L2PP1	L3E2	7,39	L1TS3	L2PP1	L3E2	5,07	L1TV4	L2PP1	L3E2	6,50	L1TI5	L2PP1	L3E2	11,10	C2
C3	L1TP1	L2PP1	L3E3	5,84	L1TL2	L2PP1	L3E3	7,67	L1TS3	L2PP1	L3E3	5,35	L1TV4	L2PP1	L3E3	6,78	L1TI5	L2PP1	L3E3	11,38	C3
C4	L1TP1	L2PP1	L3E4	6,33	L1TL2	L2PP1	L3E4	8,16	L1TS3	L2PP1	L3E4	5,84	L1TV4	L2PP1	L3E4	7,27	L1TI5	L2PP1	L3E4	11,87	C4
C5	L1TP1	L2PP1	L3E5	5,34	L1TL2	L2PP1	L3E5	7,17	L1TS3	L2PP1	L3E5	4,85	L1TV4	L2PP1	L3E5	6,28	L1TI5	L2PP1	L3E5	10,88	C5
C6	L1TP1	L2PL2	L3E1	5,75	L1TL2	L2PL2	L3E1	7,58	L1TS3	L2PL2	L3E1	5,26	L1TV4	L2PL2	L3E1	6,69	L1TI5	L2PL2	L3E1	11,29	C6
C7	L1TP1	L2PL2	L3E2	5,86	L1TL2	L2PL2	L3E2	7,69	L1TS3	L2PL2	L3E2	5,37	L1TV4	L2PL2	L3E2	6,80	L1TI5	L2PL2	L3E2	11,40	C7
C8	L1TP1	L2PL2	L3E3	6,14	L1TL2	L2PL2	L3E3	7,97	L1TS3	L2PL2	L3E3	5,65	L1TV4	L2PL2	L3E3	7,08	L1TI5	L2PL2	L3E3	11,68	C8
C9	L1TP1	L2PL2	L3E4	6,63	L1TL2	L2PL2	L3E4	8,46	L1TS3	L2PL2	L3E4	6,14	L1TV4	L2PL2	L3E4	7,57	L1TI5	L2PL2	L3E4	12,17	C9
C10	L1TP1	L2PL2	L3E5	5,64	L1TL2	L2PL2	L3E5	7,47	L1TS3	L2PL2	L3E5	5,15	L1TV4	L2PL2	L3E5	6,58	L1TI5	L2PL2	L3E5	11,18	C10
C11	L1TP1	L2PS3	L3E1	6,08	L1TL2	L2PS3	L3E1	7,91	L1TS3	L2PS3	L3E1	5,59	L1TV4	L2PS3	L3E1	7,02	L1TI5	L2PS3	L3E1	11,62	C11
C12	L1TP1	L2PS3	L3E2	6,19	L1TL2	L2PS3	L3E2	8,02	L1TS3	L2PS3	L3E2	5,70	L1TV4	L2PS3	L3E2	7,13	L1TI5	L2PS3	L3E2	11,73	C12
C13	L1TP1	L2PS3	L3E3	6,47	L1TL2	L2PS3	L3E3	8,30	L1TS3	L2PS3	L3E3	5,98	L1TV4	L2PS3	L3E3	7,41	L1TI5	L2PS3	L3E3	12,01	C13
C14	L1TP1	L2PS3	L3E4	6,96	L1TL2	L2PS3	L3E4	8,79	L1TS3	L2PS3	L3E4	6,47	L1TV4	L2PS3	L3E4	7,90	L1TI5	L2PS3	L3E4	12,50	C14
C15	L1TP1	L2PS3	L3E5	5,97	L1TL2	L2PS3	L3E5	7,80	L1TS3	L2PS3	L3E5	5,48	L1TV4	L2PS3	L3E5	6,91	L1TI5	L2PS3	L3E5	11,51	C15
C16	L1TP1	L2PV4	L3E1	6,08	L1TL2	L2PV4	L3E1	7,91	L1TS3	L2PV4	L3E1	5,59	L1TV4	L2PV4	L3E1	7,02	L1TI5	L2PV4	L3E1	11,62	C16
C17	L1TP1	L2PV4	L3E2	6,19	L1TL2	L2PV4	L3E2	8,02	L1TS3	L2PV4	L3E2	5,70	L1TV4	L2PV4	L3E2	7,13	L1TI5	L2PV4	L3E2	11,73	C17
C18	L1TP1	L2PV4	L3E3	6,47	L1TL2	L2PV4	L3E3	8,30	L1TS3	L2PV4	L3E3	5,98	L1TV4	L2PV4	L3E3	7,41	L1TI5	L2PV4	L3E3	12,01	C18
C19	L1TP1	L2PV4	L3E4	6,96	L1TL2	L2PV4	L3E4	8,79	L1TS3	L2PV4	L3E4	6,47	L1TV4	L2PV4	L3E4	7,90	L1TI5	L2PV4	L3E4	12,50	C19
C20	L1TP1	L2PV4	L3E5	5,97	L1TL2	L2PV4	L3E5	7,80	L1TS3	L2PV4	L3E5	5,48	L1TV4	L2PV4	L3E5	6,91	L1TI5	L2PV4	L3E5	11,51	C20
C21	L1TP1	L2PI5	L3E1	6,21	L1TL2	L2PI5	L3E1	8,04	L1TS3	L2PI5	L3E1	5,72	L1TV4	L2PI5	L3E1	7,15	L1TI5	L2PI5	L3E1	11,75	C21
C22	L1TP1	L2PI5	L3E2	6,32	L1TL2	L2PI5	L3E2	8,15	L1TS3	L2PI5	L3E2	5,83	L1TV4	L2PI5	L3E2	7,26	L1TI5	L2PI5	L3E2	11,86	C22
C23	L1TP1	L2PI5	L3E3	6,60	L1TL2	L2PI5	L3E3	8,43	L1TS3	L2PI5	L3E3	6,11	L1TV4	L2PI5	L3E3	7,54	L1TI5	L2PI5	L3E3	12,14	C23
C24	L1TP1	L2PI5	L3E4	7,09	L1TL2	L2PI5	L3E4	8,92	L1TS3	L2PI5	L3E4	6,60	L1TV4	L2PI5	L3E4	8,03	L1TI5	L2PI5	L3E4	12,63	C24
C25	L1TP1	L2PI5	L3E5	6,10	L1TL2	L2PI5	L3E5	7,93	L1TS3	L2PI5	L3E5	5,61	L1TV4	L2PI5	L3E5	7,04	L1TI5	L2PI5	L3E5	11,64	C25

Fonte: Autora, 2018.

A série de dados relativa à DPI, obtida pela interação entre as luzes PROTAGONISTA, COMPLEMENTAR e SUPLEMENTAR, passou por dois tipos de seleção. A primeira considera os dados desagregados por ambiente e pelo efeito, atendendo à organização por grupos e às classificações descritas na matriz. Já a segunda reúne a DPI de todos os cenários compostos por arranjos, tendo em vista a série total de cenários do ambiente.

Os resultados (em DPI) dos cenários desagregados por tipo permitem identificar e comparar as diferentes soluções contidas nos sistemas de iluminação, considerando o seu local de instalação – no teto, na parede e no espaço –, bem como a forma básica das luminárias que compõem o sistema. Já os valores compostos pela totalidade permitem demonstrar a faixa de

valores da eficiência energética dos cenários agrupados estaticamente, favorecendo identificá-los, analisá-los e compará-los.

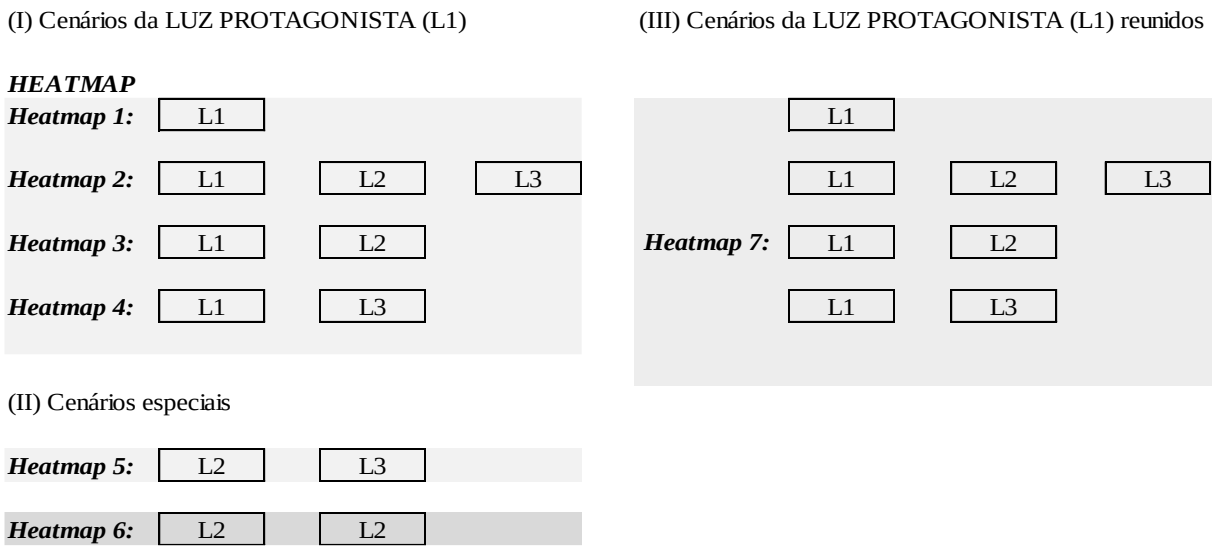
Considerando esses aspectos, os cenários obtidos foram sintetizados com o auxílio de sete gráficos do tipo *Heatmap*. Isso pode ser visto na Figura 36:

(I) Os *Heatmaps* definidos com numeração de 1 a 4 determinam os grupos de cenários de luz que se relacionam com a LUZ PROTAGONISTA – L1;

(II) Os *Heatmaps* 5 e 6 definem os grupos de cenários especiais, ou seja, que não apresentam a LUZ PROTAGONISTA visível no ambiente com suas diferentes variações de formas geométricas e locais de montagem no ambiente;

(III) O *Heatmap* 7 é a reunião de todos os cenários que se relacionam com a LUZ PROTAGONISTA[11].

Figura 36 - Resumo dos Heatmaps pelos grupos criados



Fonte: Autora, 2018.

3.5 Comparação dos cenários

Neste tópico, são apresentados alguns critérios que auxiliam como ferramenta de comparação do desempenho energético dos diversos cenários examinados. Entre eles pode-se elencar o desempenho energético obtido no ambiente em DPI; as faixas de desempenho; os grupos criados ao desagregar os cenários; as características associadas à FORMA,

[11] Referente aos dados obtidos nas matrizes de 1 a 6 e a Matriz especial – Anexo H.

DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO dos sistemas de iluminação no espaço; os locais de instalação dos sistemas no ambiente. Esses tipos encontram-se resumidos no Quadro 7.

Quadro 7 - Tipos de comparação dos cenários de luz

(I) Desempenho energético obtido no ambiente, em DPI	Este tipo prioriza os cenários que apresentam os melhores desempenhos. Por exemplo, no que se refere à DPI e a outros parâmetros intrinsecamente associados como iluminâncias desejadas.
(II) Determinação de faixas de desempenho	Priorizam os cenários agrupados por faixas de desempenho em DPI do ambiente.
(III) Desagregado pela interação com a LUZ PROTAGONISTA (L1)	Relaciona o conjunto de arranjos formados pela LUZ PROTAGONISTA com a Luz COMPLEMENTAR, a SUPLEMENTAR, ou ambas.
(IV) FORMA, DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO dos sistemas de iluminação no espaço	Este tipo prioriza o efeito luminotécnico produzido pelos diferentes sistemas no ambiente. Considera também a forma do sistema e o seu agenciamento no espaço.
(V) LOCAIS de instalação	Por um critério projetual, prioriza o local de instalação dos sistemas de iluminação: no teto, nas paredes do ambiente ou em um local qualquer no espaço.

Fonte: Autora, 2018.

Na busca por cenários com o melhor desempenho para o ambiente, os parâmetros de comparação apresentados no Quadro 7 podem ser somados. Como exemplo, pode-se definir como critério a escolha de sistemas que possuem forma linear e/ou distribuição ordenada, que se encontram na faixa de desempenho entre 5 e 10 W/m^2.

Vale ressaltar que outros critérios podem ser adotados em função das características do ambiente. Preferência do usuário e os critérios individuais são alguns deles, que fazem parte do universo atribuído à prática profissional do arquiteto e do *lighting designer*.

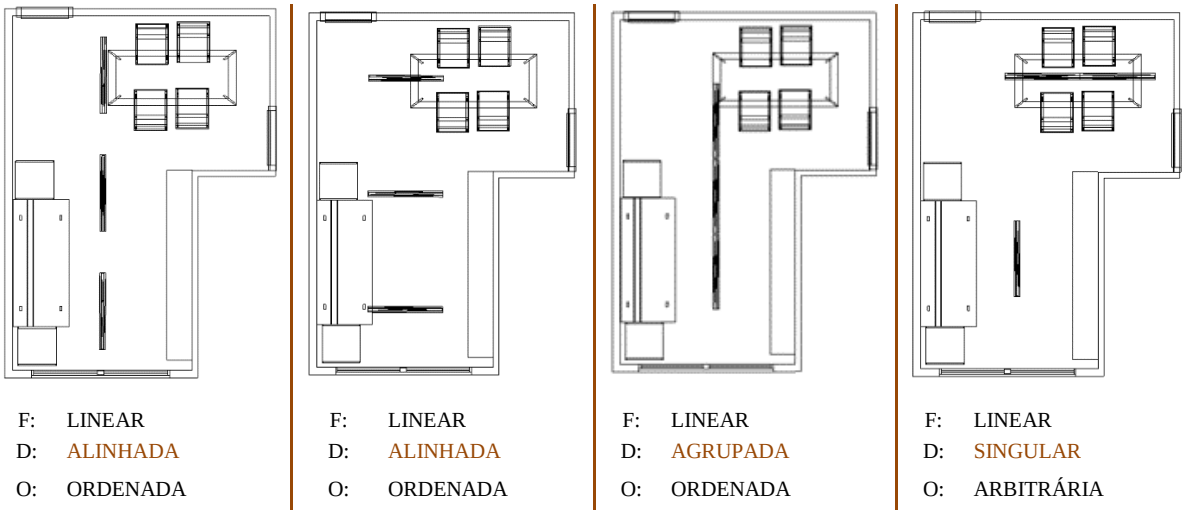
3.6 Ajustes na distribuição dos sistemas de luz nos cenários

Durante a visualização do efeito produzido pela luz no ambiente, alguns casos demandaram ajustes típicos de projeto, como ajustes na disposição das luminárias no ambiente,

na direcionalidade do facho de luz, questões estéticas e outros ajustes passíveis de ocorrer durante a modelagem dos cenários.

A formação dos arranjos orientados pela FORMA, DISPOSIÇÃO, ORGANIZAÇÃO e LOCAL[12] auxiliou nos ajustes dos cenários, porquanto propiciou uma variabilidade de arranjos para um mesmo sistema de iluminação. Como exemplo, o cenário L1TL2, formado pela LUZ PROTAGONISTA, pode ter a disposição e a organização regidas por diferentes arranjos no teto – disposição alinhada, agrupada ou singular –, conforme demonstrado na Figura 37.

Figura 37 - Arranjos de um mesmo cenário utilizando como princípio a Disposição e a Organização dos sistemas de iluminação no ambiente



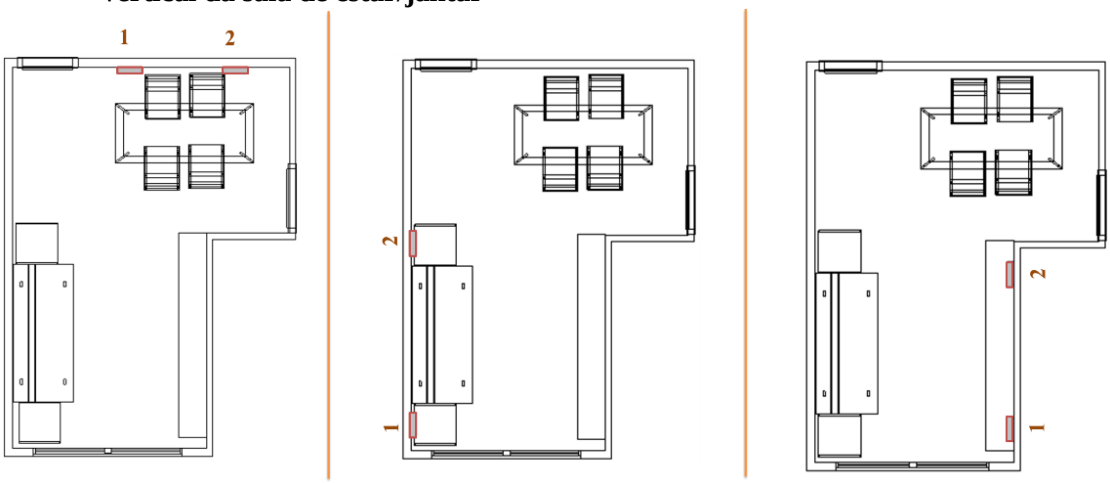
Fonte: Autora, 2018.
Notas: Sendo F: FORMA; D: DISPOSIÇÃO; O: ORGANIZAÇÃO.

A variação da instalação dos sistemas iluminação pela alternância do local de montagem é outra estratégia utilizada para realização dos ajustes durante a modelagem. Essa estratégia pode ser aplicada aos arranjos instalados na parede, em que é possível variar os diferentes planos verticais existentes no ambiente, conforme pode ser visto na Figura 38.

Este exemplo expõe a estratégia de ajuste pela alternância dos planos no cenário L2PP1, definido pela LUZ COMPLEMENTAR. Nele, observa-se que o efeito produzido pela luminária com forma pontual poderá ter testado nas seguintes situações: quando ela é instalada na parede próxima ao sofá, ou da mesa de jantar, ou em outra parede contida no ambiente.

[12] O item 3.1.4.2.1 Forma, Disposição, Organização e Local de montagem dos sistemas de iluminação descreve o método proposto.

Figura 38 - Ajustes na modelagem dos cenários pela variação da montagem em um plano vertical da sala de estar/jantar



Fonte: Autora, 2018.

Esta temática terá uma abordagem prática no item a seguir, no qual serão discutidos os resultados em diferentes cenários ilustrativos. Neles serão comparados aspectos do desempenho energético e o efeito produzido no espaço por diferentes sistemas de iluminação, considerando as variações nos arranjos formados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A sala de estar/jantar é o ambiente residencial que apresenta maior tempo de ocupação e variedade de atividades, sendo o local que, de fato, reúne características comuns aos demais setores residenciais. Também pode ser considerado o ambiente no qual a iluminação está mais sujeita a preferências individuais.

Como a sala de estar/jantar é um espaço de uso múltiplo, torna-se importante a construção de cenários de luz que vislumbrem múltiplas possibilidades. Esse aspecto é de fundamental importância para a definição de parâmetros de desempenho da iluminação.

Pensar a luz no ambiente como um somatório de sistemas de iluminação que formam um cenário favorece o desenvolvimento de múltiplos arranjos luminotécnicos, responsáveis pelo atendimento de diferentes preferências e usos. No caso da sala de estar/jantar, aborda-se a interação entre os sistemas de iluminação apresentados, utilizando a combinação da LUZ PROTAGONISTA, da LUZ COMPLEMENTAR e da LUZ SUPLEMENTAR.

4.1 Desempenho energético dos cenários de luz desagregados pelos grupos criados e pelo local de montagem

O desempenho energético da iluminação no ambiente, oriundo da combinação entre os sistemas descritos anteriormente, resulta em múltiplos cenários. Para melhor entendê-los e compará-los, optou-se por desagregá-los, considerando os seguintes aspectos: (I) os grupos criados pelas várias combinações formadas pela LUZ PROTAGONISTA, LUZ COMPLEMENTAR e LUZ SUPLEMENTAR; (II) o agrupamento dos diversos resultados obtidos com diferentes LOCAIS de montagem dos sistemas de iluminação.

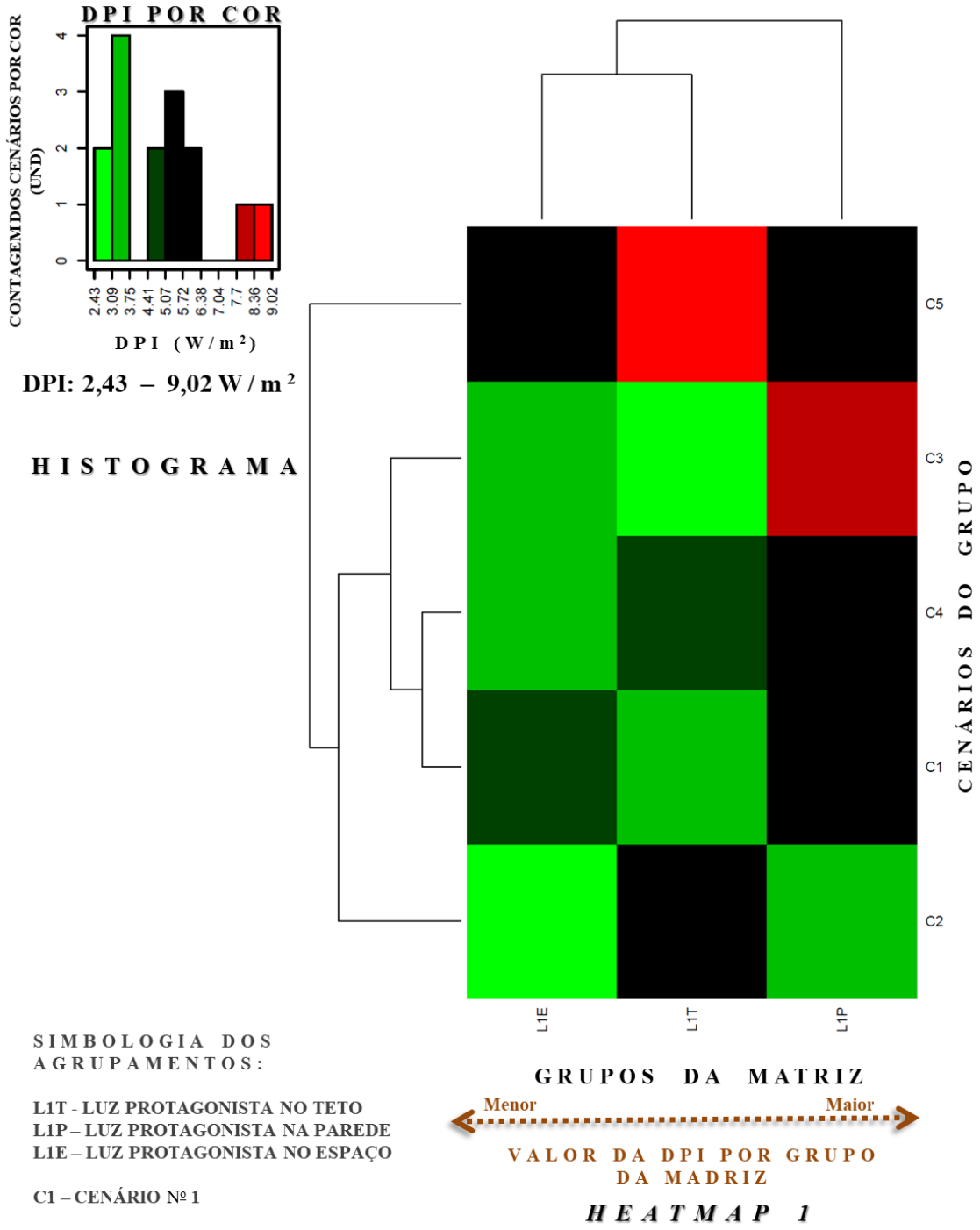
A seguir são descritos os resultados obtidos com as seguintes *heatmaps:*

4.1.1 Heatmap 1: DPI dos cenários com a função de Luz Protagonista

Os sistemas de iluminação artificial com função PROTAGONISTA foram desenvolvidos para atuar como fonte de luz principal, designada ao atendimento da maioria das atividades exercidas no ambiente. Eles poderão ser complementados, caso necessário, por outro sistema de iluminação.

Os níveis de desempenho da fonte da LUZ PROTAGONISTA encontram-se plotadas na Figura 39, na qual constam os resultados energéticos (em DPI) dos cenários formados pelas quatro tipologias de luminárias visíveis (Pontual, Linear, Superficial e Volumétrica) e o cenários com sistemas não visíveis, ou seja, sancas ou cornijas.

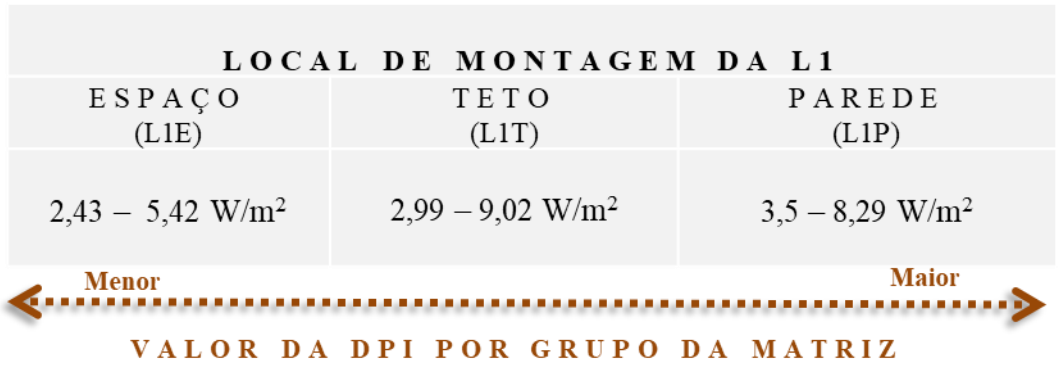
Figura 39 - Resultados dos cenários com a função de Luz Protagonista



Fonte: Autora, 2018.

Os cenários iniciados pela LUZ PROTAGONISTA obtiveram níveis de DPI que variam entre 2,5 e 9 W/m^2, aproximadamente. Os sistemas de iluminação com montagem no espaço (L1E – tipo pendente), seguido dos sistemas de iluminação no teto (L1T), apresentam sequências com os melhores desempenhos energéticos (Figura 40). Já na última coluna da Figura 40, encontra-se a iluminação composta pelos sistemas situados na parede (L1P).

Figura 40 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 1



Fonte: Autora, 2018.

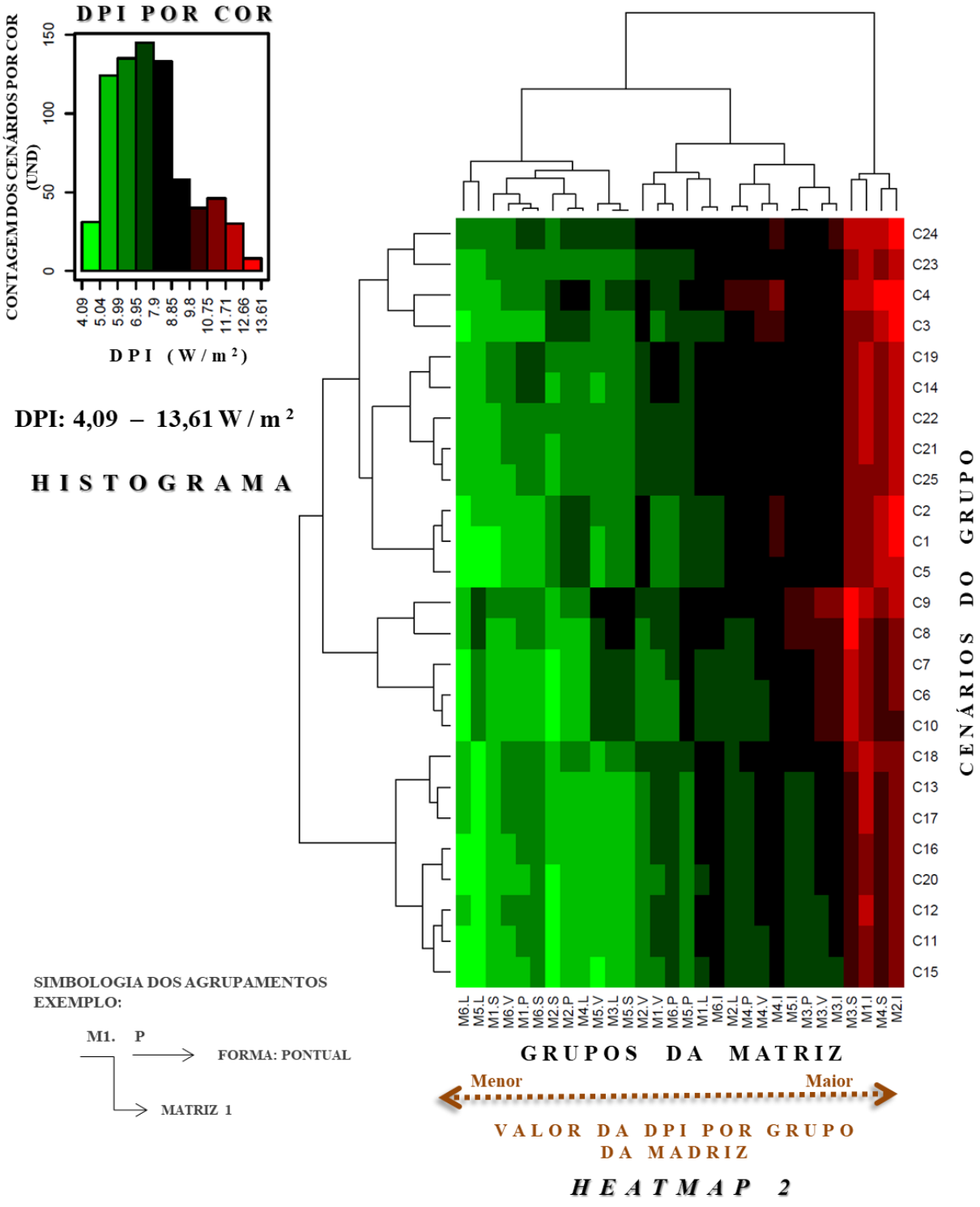
Os cenários que têm as quatro tipologias de luminárias visíveis apresentam DPIs que variam entre 2,43 e 8,29 W/m^2. Essa variação apresenta-se no mosaico de cores que partem da cor verde, progredindo para a cor preta (Figura 39). Deve-se ressaltar apenas uma variação em vermelho no cenário C5 (L1T), instalado no teto, e no C3 (L1P), instalado na parede. O cenário com maior DPI é o C5 (L1T), com o sistema não visível tipo sanca no teto, que apresenta DPI de 9,02 W/m^2. Ele é seguido do cenário C3 (L1P), com a forma da luminária superficial e montagem na parede, que apresenta DPI de 8,29 W/m^2.

4.1.2 Heatmap 2: DPI dos cenários combinando com a Luz Protagonista, a Luz Complementar e a Luz Suplementar

As primeiras interações esperadas entre os sistemas de iluminação ocorrem nos arranjos formados pela LUZ PROTAGONISTA, a LUZ COMPLEMENTAR e a LUZ SUPLEMENTAR. Essa relação é estabelecida por meio da combinação dos cenários desenvolvidos. Tais combinações possibilitaram a criação de 30 grupos, totalizando 25 cenários diferentes por grupo. Assim, são agregadas soluções que diferem pelo critério FORMA e LOCAL de montagem dos sistemas de iluminação no ambiente (Figura 41). Esses grupos

apresentaram DPI que varia entre 4,09 e 13,61 W/m$^{2;}$ a maior predominância de cenários concentra-se em até 10 W/m^2 .

Figura 41 - Os cenários resultantes da combinação L1, L2 e L3



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 41 apresenta o resultado das simulações das matrizes de 1 a 6, contendo os grupos ordenados estatisticamente de maneira que os que possuem menor DPI são posicionados no lado esquerdo do gráfico, enquanto os que têm maior DPI ficam no lado direito. Os grupos da matriz 5 e 6, que possuem a LUZ PROTAGONISTA com sistema linear intalado no espaço, apresentaram os cenários com menor DPI. Já os maiores desempenhos foram obtidos pelos grupos de cenários da matriz 2, formados pelo cenário da LUZ PROTAGONISTA não visível (sanca) no teto, seguido do grupo de sistemas que possui a LUZ PROTAGONISTA, do tipo superficial na parede. A Figura 42 apresenta um resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no *Heatmap* 2.

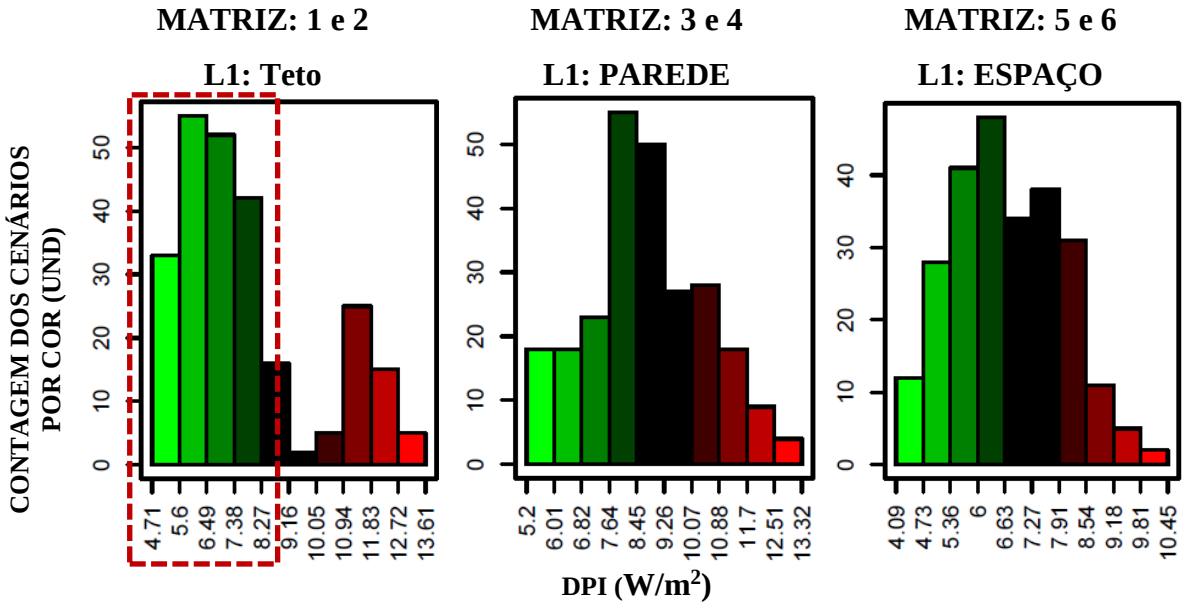
Figura 42 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 2

Fonte: Autora, 2018.

Observa-se na Figura 42 que as sequências apresentadas pelo grupo de luminárias protagonistas instaladas na parede na forma superficial (M4.S) têm comportamento energético elevado, semelhante às sancas de luz, com os resultados da DPI variando entre 9 e 14 W/m^2, aproximadamente.

As matrizes 1 e 2, que possuem a LUZ PROTAGONISTA (L1) instalada no teto, reúnem os cenários com menor DPI, se comparados com os demais grupos analisados, concentrando-se no desempenho, em DPI, de até 8 W/m^2 (aproximadamente), conforme demonstrado na Figura 43.

Figura 43 - Histogramas referentes ao Heatmap 2, desagregados pelo Local de montagem



DPI: 4,71 – 13,61 W/m^2 DPI: 5,2 – 13,32 W/m^2 DPI: 4,09 – 10,45 W/m^2

Fonte: Autora, 2018.

4.1.3 Heatmaps 3 e 4: DPI dos cenários combinando a Luz Protagonista com a Luz Complementar e a Luz Protagonista com a Luz Suplementar

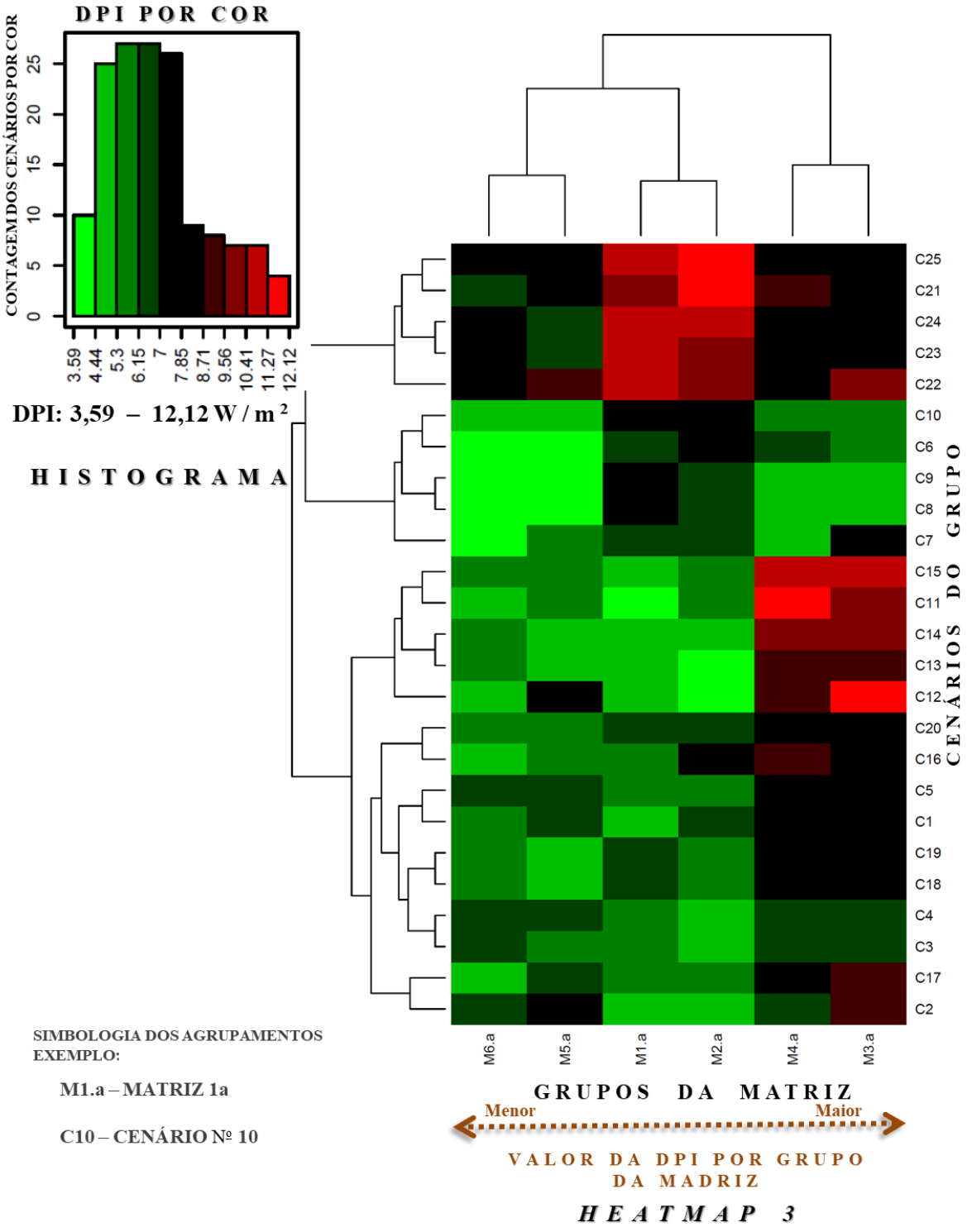
Ampliando as combinações possíveis, a LUZ PROTAGONISTA poderá se relacionar apenas com A LUZ COMPLEMENTAR ou apenas com a SUPLEMENTAR:

4.1.3.1 Heatmap 3: Luz Protagonista e Luz Complementar

A combinação da LUZ PROTAGONISTA com a LUZ COMPLEMENTAR possibilitou a formação de 125 cenários de luz no ambiente. Esses cenários foram agrupados em cinco sequências de 25 cenários, diferenciados pelas FORMAS da luminária ou pelo LOCAL de instalação (Figura 44).

Os cenários formados por esses grupos atingiram faixas semelhantes de DPI. O primeiro grupo (L1 e L2) resultou em DPI entre 3,59 e 12,12 W/m^2. Os sistemas de iluminação da LUZ PROTAGONISTA com montagem no espaço, seguidos dos sistemas de iluminação no teto, apresentam sequências com os melhores desempenhos energéticos (Figura 45).

Figura 44 - Os cenários resultantes da combinação L1 e L2



Fonte: Autora, 2018.

Figura 45 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI, descritos no Heatmap 3

Fonte: Autora, 2018.

4.1.3.2 Heatmap 4: Luz Protagonista e Luz Suplementar

A combinação da LUZ PROTAGONISTA com a LUZ SUPLEMENTAR é um pouco menor, possibilitando a criação de 75 cenários de luz. Isso porque a LUZ SUPLEMENTAR foi proposta para atuar neste ensaio projetual apenas no espaço, definindo assim um grupo menor que o anterior. Esses cenários da combinação L1 e L3 atingiram um desempenho energético com variação entre 2,93 e 10,51 W/m^2, conforme mostrado na figura 47. A maior parcela dos cenários está contida na faixa de 3 a 7,5 W/m^2.

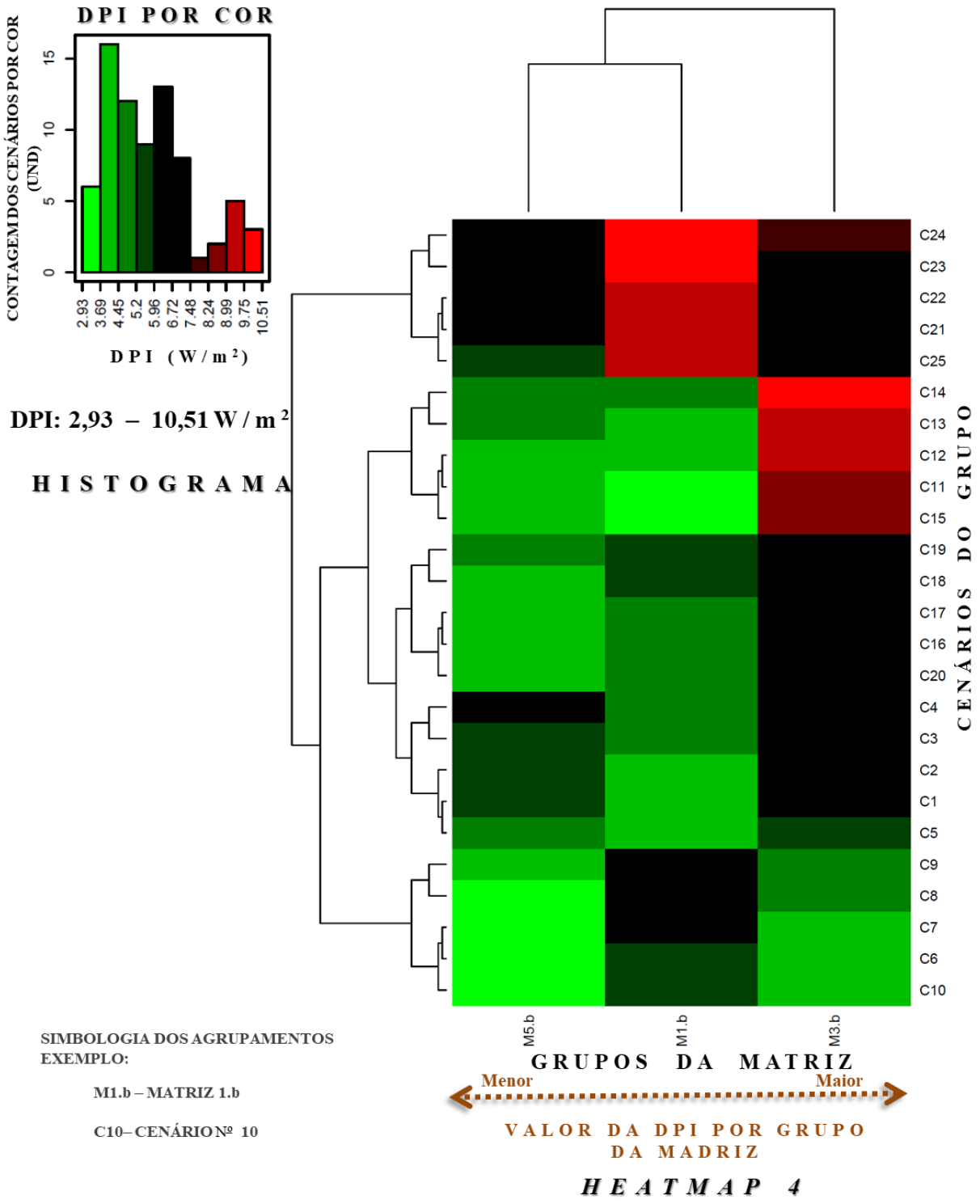
Os sistemas de iluminação da LUZ PROTAGONISTA com montagem no espaço, seguidos dos sistemas de iluminação no teto, apresentam sequências com os melhores desempenhos energéticos (Figura 46), comportamento semelhante ao do grupo anterior (L1 e L2).

Figura 46 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 4

Fonte: Autora, 2018.

Como a LUZ SUPLEMENTAR compreende a iluminação produzida com a finalidade de efeitos estéticos e ocasionais, as DPIs resultantes desses cenários apresentam menor valor, se comparadas com os demais grupos que se relacionam com a LUZ PROTAGONISTA.

Figura 47 - Os cenários resultantes da combinação L1 e L3



Fonte: Autora, 2018.

4.1.4 Heatmaps 5 e 6: DPI dos cenários especiais

As últimas interações propostas na matriz referem-se ao grupo de cenários considerados especiais, pois expressam aspectos específicos relacionados ao efeito produzido no espaço e ao atendimento de atividades que os diferenciam dos grupos anteriores. São eles:

4.1.4.1 Heatmap 5: DPI dos cenários da Luz Complementar e da Luz Suplementar

O primeiro estudo refere-se à interação da LUZ COMPLEMENTAR e da LUZ SUPLEMENTAR. A interação entre elas resulta em cenários nos quais a iluminação produzida passa a atuar como LUZ PROTAGONISTA, no sentido de atender às atividades humanas no ambiente. Muitas delas são específicas da sala de estar/jantar, ou seja, estão adequadas ao ambiente que prioriza atividades especiais, como, por exemplo, a meditação, assistir televisão e outras que requerem efeitos luminotécnicos diferenciados daqueles apresentados anteriormente.

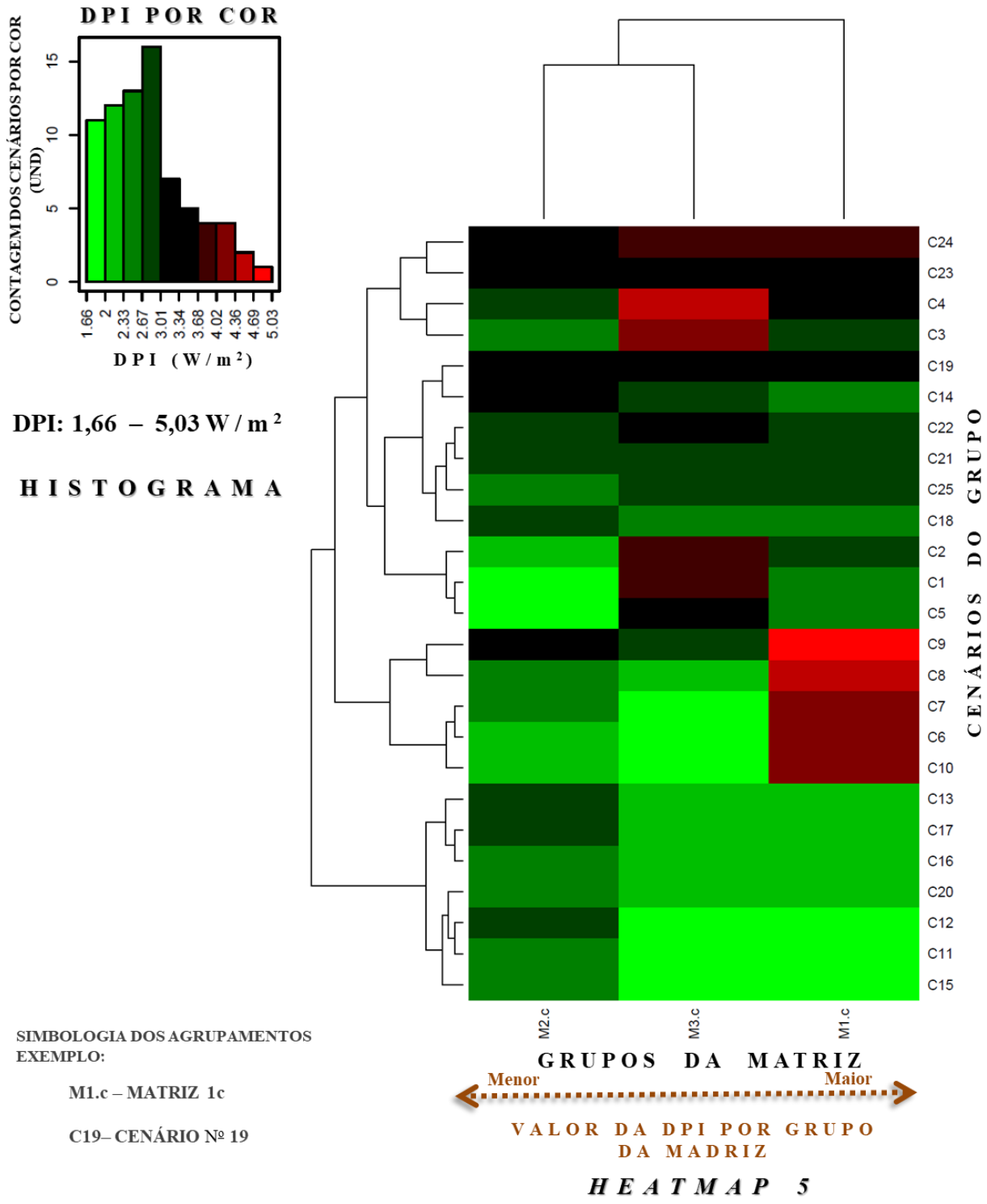
Muitos cenários formados por essa sequência (L2 e L3) podem não atender aos níveis mínimos estabelecidos por este trabalho. Tais níveis podem ser inferiores a 100 lux. Este aspecto será abordado no capítulo seguinte, que se propõe a comparar os cenários criados.

Os cenários da relação L2 e L3 possibilitam a criação de 75 outros, ou seja, 25 cenários por grupo. O desempenho obtido em DPI acha-se entre 1,66 e 5,03 W/m^2, conforme apresentado no *Heatmap* 5 (Figura 48).

Os sistemas de iluminação da LUZ COMPLEMENTAR com montagem no espaço (M2.c), seguidos dos sistemas de iluminação no teto (M3.c), apresentam sequências com os melhores desempenhos energéticos (Figura 49). Já na última coluna da Figura 48, encontra-se a iluminação composta pelos sistemas situados na parede (M1.c)[13].

[13] O DPI dos cenários que compõem os grupos das matrizes M1.a, M1.b e M1.c encontram-se nos Anexos H1, H2 e H3.

Figura 48 - Os cenários resultantes da combinação L2 e L3



Fonte: Autora, 2018.

Figura 49 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI, descritos no Heatmap 5

Fonte: Autora, 2018.

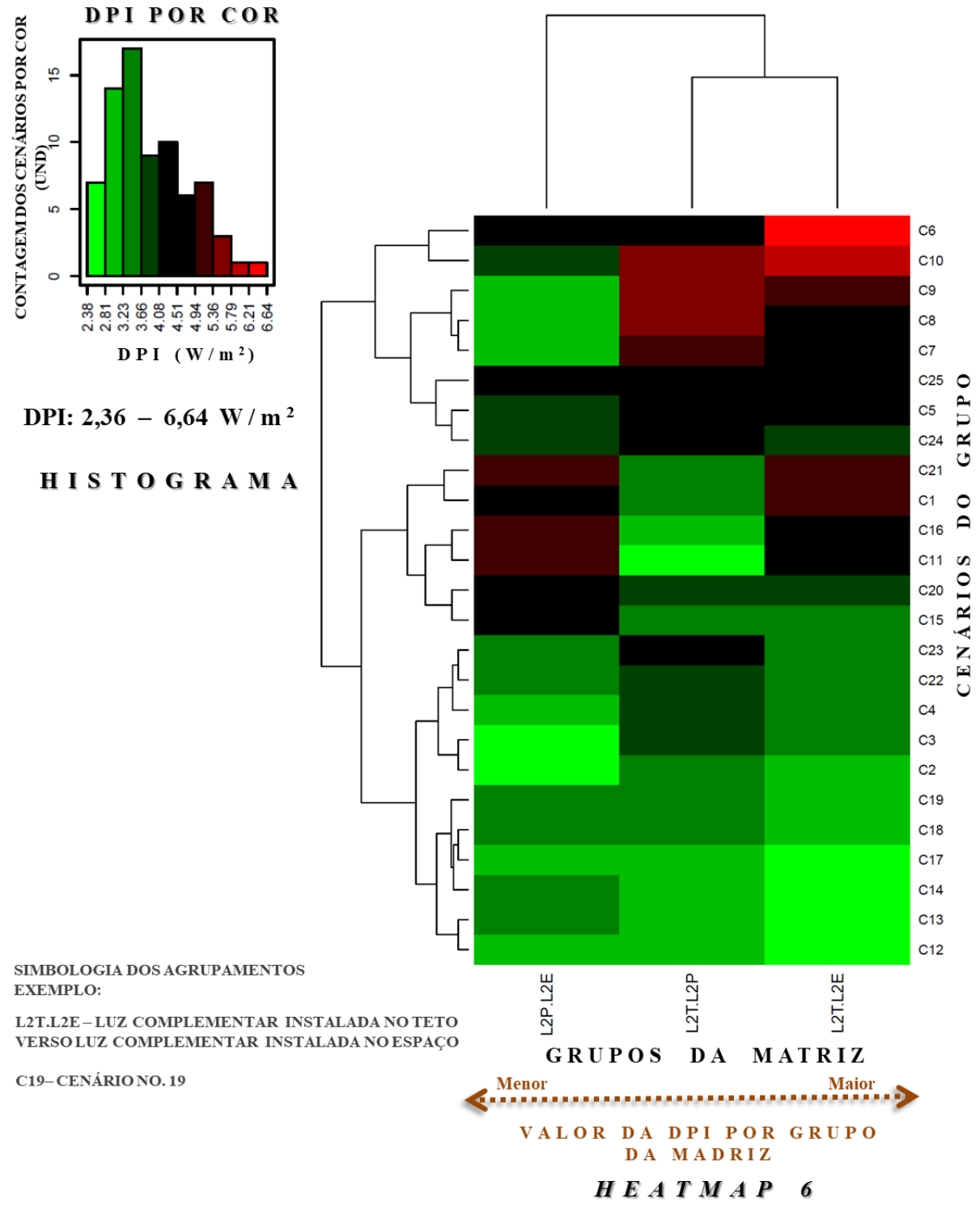
4.1.4.2 Heatmap 6: DPI dos cenários da Luz Complementar utilizando locais de montagem distintos

A LUZ COMPLEMENTAR, como seu nome designa, foi determinada neste trabalho para complementar a LUZ PROTAGONISTA no atendimento a atividades visuais que requerem maior luminosidade e destaque de objetos, entre outras finalidades. Porém, na ausência da LUZ PROTAGONISTA, esses sistemas podem assumir o protagonismo do ambiente no que se refere ao atendimento de níveis de iluminamento dedicado às atividades exercidas, bem como atuar na iluminação de destaque de elementos arquitetônicos.

Como no grupo apresentado anteriormente, alguns cenários podem não atender aos níveis mínimos estabelecidos por este trabalho. Podem também apresentar maiores contrastes de luz, quando avaliado o efeito produzido no espaço, devido ao elevado fator de destaque. Considerando os demais cenários, esses aspectos relacionados à FORMA de iluminar atendem a preferências por ambientes que buscam destaque de objetos e contraste de formas arquitetônicas.

Os níveis de desempenho dos sistemas que se relacionam com a LUZ COMPLEMENTAR encontram-se plotados no *Heatmap* 6 (Figura 50). Nele estão expostos os grupos formados pelas tipologias de luminárias visíveis e os cenários com sistemas não visíveis, ou seja, sancas ou cornijas instaladas, conforme especificadas na matriz de simulação especial (anexo G) no teto, na parede e posicionadas no espaço. Os cenários determinados pelos diferentes LOCAIS de montagens da L2 possibilitam a criação de outros 75, ou seja, um total de 25 cenários por grupo. O desempenho obtido em DPI acha-se entre 2,38 e 6,64 W/m^2 (Figura 50).

Figura 50 - Resultados dos cenários em diferentes Locais de montagens da L2



Fonte: Autora, 2018.

Os grupos formados pelos diferentes LOCAIS de montagens da L2 apresentam desempenho energético semelhante, variando entre 2,50 e 6 W/m^2, conforme demonstrado na Figura 51.

Figura 51 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 6

Fonte: Autora, 2018.

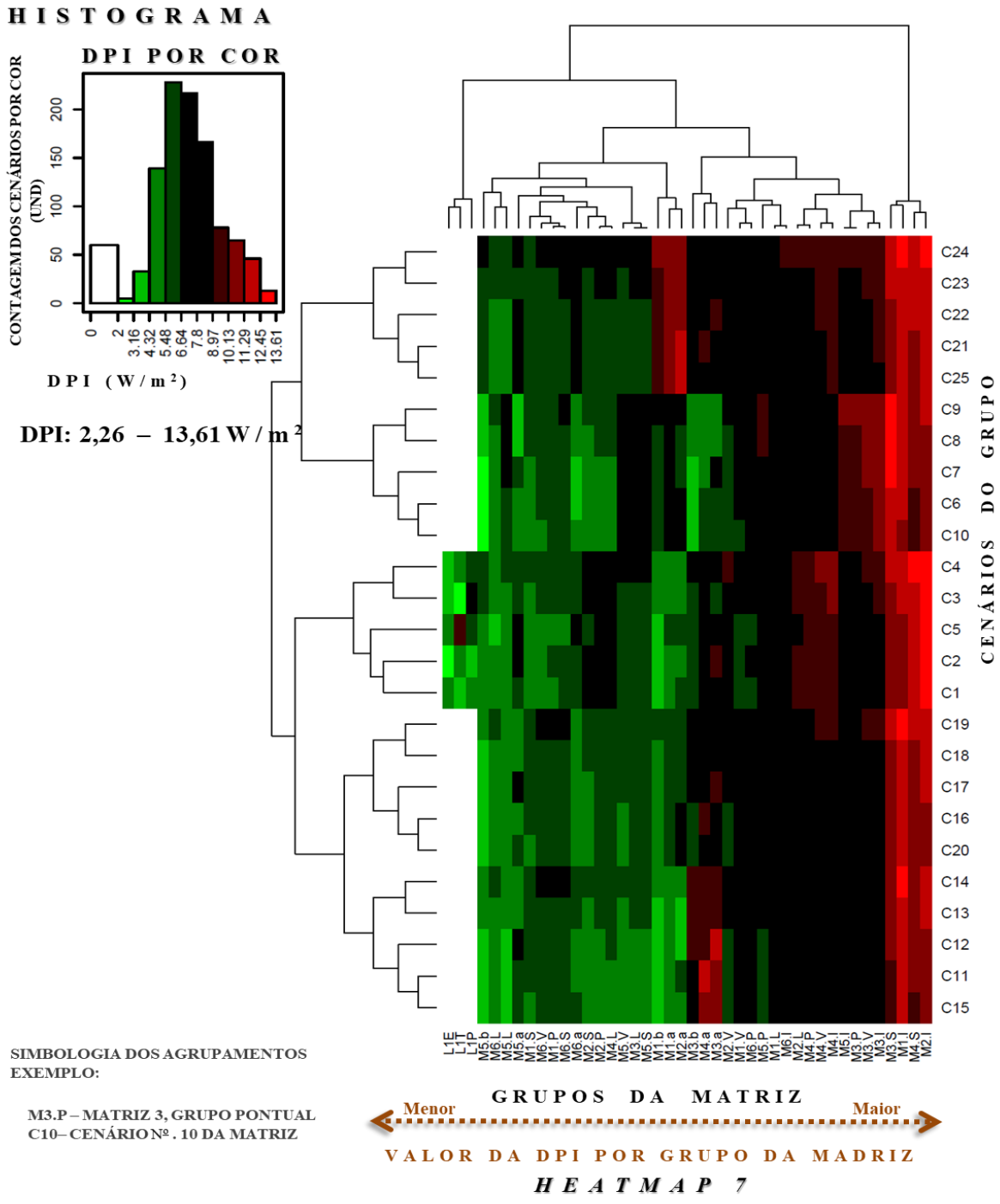
4.1.5 Heatmap 7: O agrupamento dos cenários que se relacionam com a Luz Protagonista

A reunião dos cenários desagregados pela interação com a LUZ PROTAGONISTA e suas variações, anteriormente apresentados, favorece a formação de 42 grupos. Isso permite reunir aproximadamente mil cenários, os quais têm o seu desempenho, em DPI, plotados no *Heatmap* 7 (Figura 52). O desempenho desses cenários varia entre 2,26 e 13,61 W/m^2. Observa-se um maior número de cenários variando entre 2 e 10 W/m^2. Eles estão representados no gráfico na cor verde, progredindo para o preto.

Os sistemas de iluminação formados apenas pela LUZ PROTAGONISTA com montagem no espaço (tipo pendente), seguidos dos sistemas de iluminação no teto e na parede, apresentam sequências com os melhores desempenhos energéticos. Esses grupos foram desenvolvidos para atuar como fonte de luz principal, designada ao atendimento da maioria das atividades exercidas no ambiente, e não possuem outros sistemas de iluminação atuando como iluminação complementar ou suplementar a eles (Figura 53).

Os maiores desempenhos (Figuras 52 e 53) foram obtidos pelos cenários formados pela matriz 2, grupo de cenários que possui a LUZ PROTAGONISTA do tipo não visível (sanca) no teto (M2.I), seguido do grupo de cenários do tipo superficial na parede (M4.S). Esses grupos foram apontados anteriormente, no *Heatmap 2* (Figura 41), como os de maiores desempenhos, em DPI, obtidos pelos grupos de cenários que se relacionam com a LUZ PROTAGONISTA.

Figura 52 - Resultados dos cenários que relacionam a Luz Protagonista na sala de estar/jantar



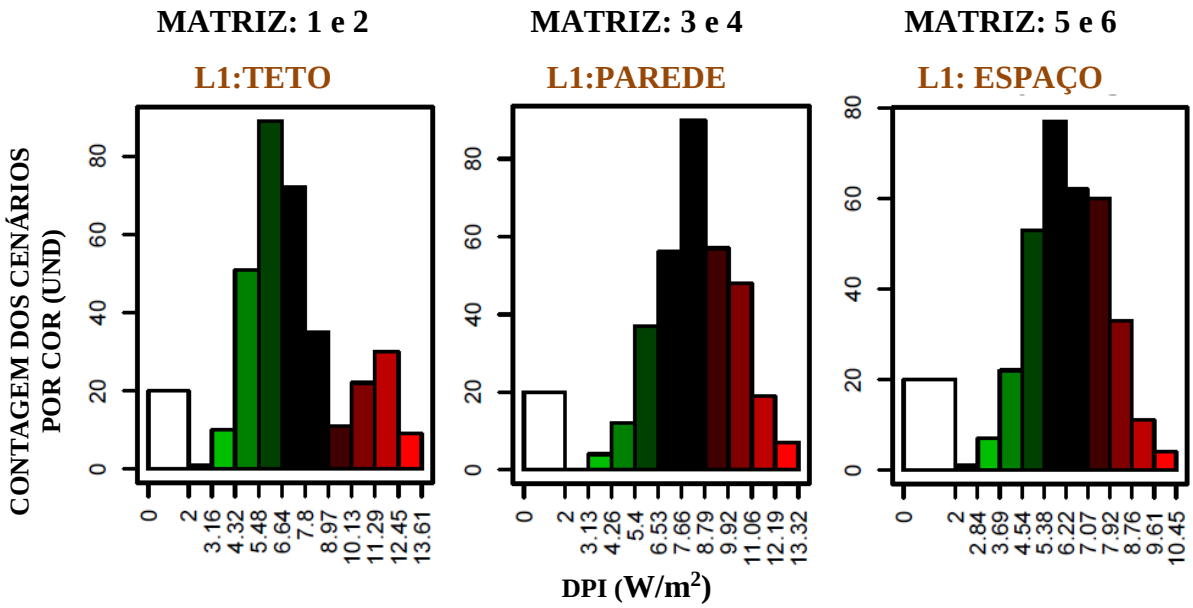
Fonte: Autora, 2018.

Figura 53 - Resumo dos grupos com menor e maior DPI descritos no Heatmap 7

Fonte: Autora, 2018.

Como apresentado anteriormente, as matrizes 1 e 2, que possuem a LUZ PROTAGONISTA instalada no teto, concentram os cenários com menor DPI, se comparados com os demais grupos analisados. A Figura 54 apresenta os histogramas parciais, gráficos esses que desagregam a DPI dos cenários pelos três locais de montagem dos sistemas de iluminação com relação à LUZ PROTAGONISTA.

Figura 54 - Histogramas referentes ao Heatmap 7, desagregados pelo Local de montagem [14]



DPI: 2,00 – 13,61 W/m^2 DPI: 3,13 – 13,32 W/m^2 DPI: 2,00 – 10,45 W/m^2

Fonte: Autora, 2018.

[14] O anexo H agrupa as matrizes de simulação determinadas pela Tese.

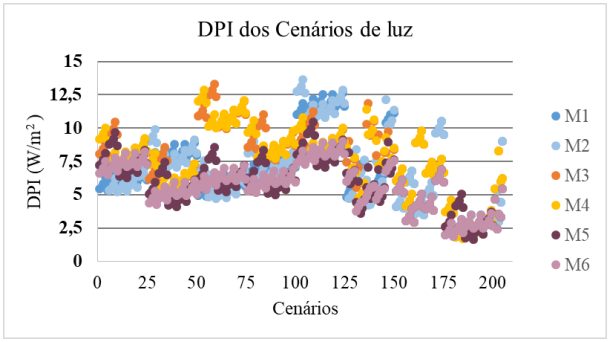
4.1.6 DPI das matrizes em percentuais por segmento

Os grupos formados pelas matrizes de simulação de 1 a 6 (Anexo H) foram também agrupados em três faixas de desempenho de DPI (0 a 5, 5 a 10 e 10 a 15 W/m^2), conforme demonstrado na Figura 55. Os percentuais de DPI obtidos pelos cenários de luz apontam para o valor entre 5 e 10 W/m^2 como a faixa que reúne a maioria dos arranjos de luz formados. Já a faixa de 10 a 15 W/m^2 representa a menor parcela dos cenários em relação às demais faixas.

Sendo assim, seria razoável apontar o valor referencial DPI$_L$ de 10 W/m^2, aproximadamente, como o de maior predominância dos cenários de luz realizados neste ensaio projetual. Pode-se atribuir a DPI de até 8 W/m^2 como correspondente ao desempenho energético do grupo de cenários formados pelas quatro formas geométricas visíveis desenvolvidas neste trabalho.

Figura 55 - Os cenários de luz em percentuais por segmento

DPI (W/m^2)	M1	M2	M3	M4	M5	M6
0 – 5	22%	24%	14%	15%	29%	29%
5 – 10	**61%**	**60%**	**67%**	**68%**	**71%**	**71%**
10 – 15	16%	16%	19%	17%	0%	0%



Sendo: Matriz 1 (M1); Matriz 2 (M2); Matriz 3 (M3); Matriz 4 (M4); Matriz 5 (M5); Matriz 6 (M6).
Fonte: Autora, 2018.

4.2 Comparação dos cenários

O aspecto fundamental defendido neste trabalho é a comparação do desempenho energético dos diversos cenários examinados da sala de estar/jantar em edificações residenciais. Para tal fim, propõe-se a escolha de parâmetros anteriormente apresentados[15] que podem auxiliar na comparação do desempenho do conforto visual e da eficiência na iluminação.

Entre eles pode-se elencar o desempenho energético obtido no ambiente em DPI; as faixas de desempenho; os grupos criados ao desagregar os cenários; as características

[15] Ver item 3.5 Comparação dos cenários.

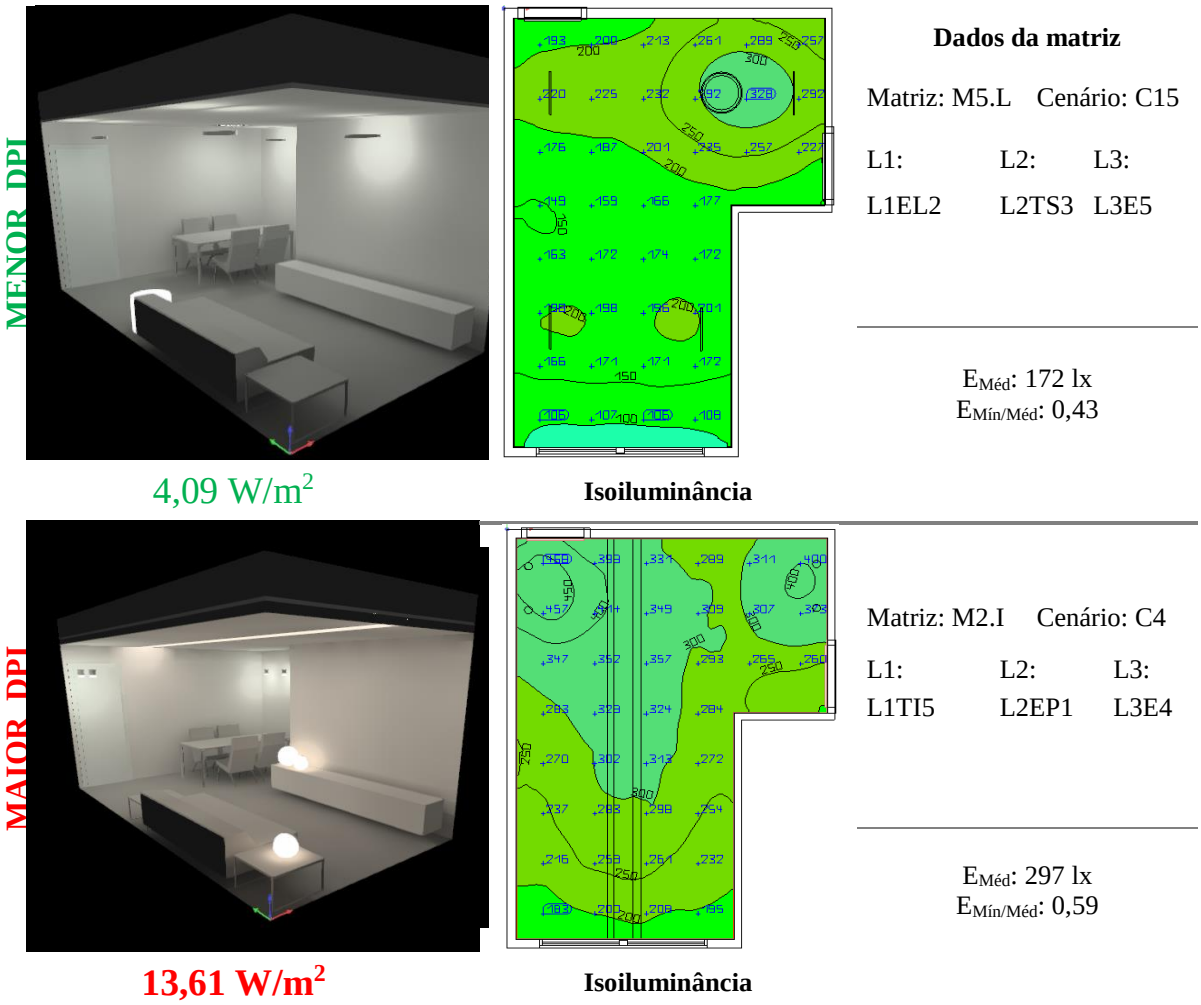
associadas à FORMA, DISPOSIÇÃO E ORGANIZAÇÃO dos sistemas de iluminação no espaço; o LOCAL de montagem dos sistemas no ambiente.

Os exemplos a seguir ilustram os aspectos abordados neste item, tomando como referência os cenários delimitados neste estudo comparativo.

4.2.1 Cenários com menor e maior desempenho energético em DPI

A análise comparativa pode ser feita entre os cenários que apresentaram o menor e o maior desempenho energéticos. Como exemplo (Figura 56), optou-se por apresentar o cenário com a menor DPI e a maior DPI, utilizando os grupos formados pela LUZ PROTAGONISTA, LUZ COMPLEMENTAR e LUZ SUPLEMENTAR. Tais cenários haviam sido anteriormente agrupados no *Heatmap* 2 (Figura 41, p. 104).

Figura 56 - Os cenários de menor e o maior DPI



Fonte: Autora, 2018.

Como resultado dessa comparação, observa-se que o menor valor de DPI obtido pelo grupo analisado integra a Matriz 5, formado pela LUZ PROTAGONISTA instalada no espaço, do tipo pendente com forma linear. Esse cenário possui a DPI de 4,09 W/m^2. Já a maior DPI foi formada na Matriz 1, resultante de um cenário que apresenta a luz não visível, ou sanca, no teto, com desempenho energético em DPI de 13,61 W/m^2. O efeito da iluminação produzido por esses cenários resulta em boa uniformidade e níveis de iluminamento semelhantes, conforme demonstrado na Figura 56.

4.2.2 Forma, Disposição, Organização e Local de montagem dos sistemas de iluminação no espaço

O grupo de cenários desenvolvidos permite analisar o comportamento energético do efeito produzido da luz, utilizando como parâmetro a variação da FORMA, DISPOSIÇÃO, ORGANIZAÇÃO e LOCAL de montagem. Esses critérios priorizam o efeito luminotécnico produzido pelos diferentes sistemas no ambiente, proporcionado pela FORMA da luminária e pelos arranjos formados por elas no ambiente.

4.2.2.1 A variação da Forma dos sistemas de iluminação

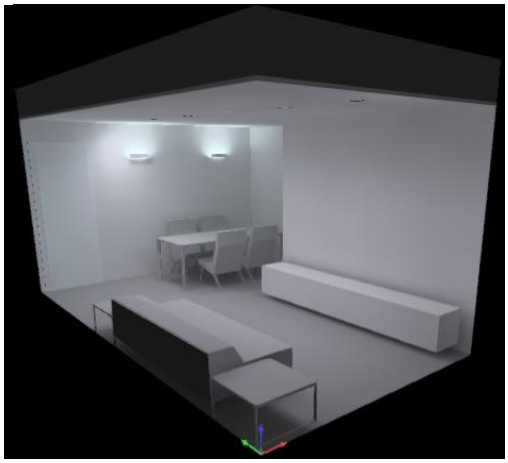
Como exemplo ilustrativo, optou-se pelo cenário C6, que possui a LUZ PROTAGONISTA no teto com a FORMA linear, comparando o seu desempenho com outros cenários[16] – C1, C11, C16, C21 – que têm as luminárias com FORMAS pontual, superficial e volumétrica, respectivamente, e a sanca de luz. Esses cenários apresentam a DISPOSIÇÃO no teto do tipo alinhada e ORGANIZAÇÃO ordenada, conforme demonstrado na Figura 57.

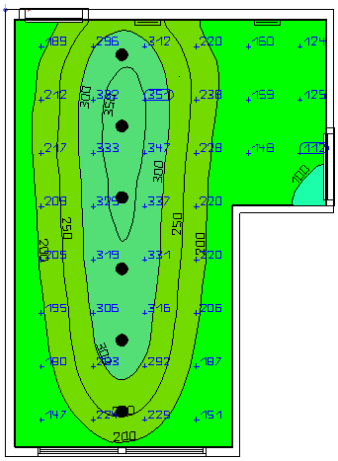
No que se refere ao desempenho energético, observa-se um aumento de aproximadamente 2 W/m^2, se comparadas a menor e a maior DPI ocasionadas pela variação da FORMA da luminária nos cenários avaliados. Já o efeito luminotécnico produzido pelos sistemas de iluminação no ambiente também são semelhantes, não implicando aumento significativo na iluminância média, aspecto esse evidenciado nas curvas de isoiluminância dos modelos simulados (Figura 57).

[16] Cenários da Matriz 1. Ver grupo M1.a no anexo A.

Figura 57 - Os diferentes efeitos produzidos na iluminação em função da variação da Forma

(continua)





Dados da matriz

Matriz: **M1.a** Cenário: **C1**

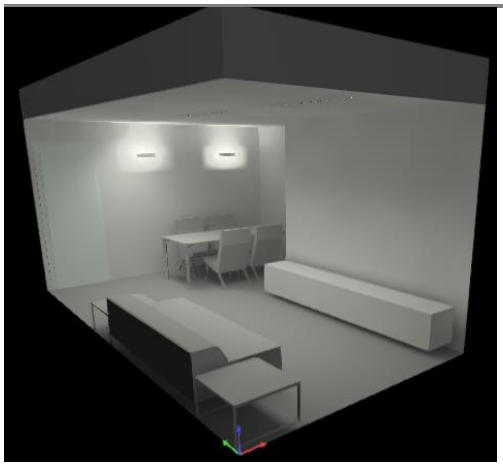
L1: L2: L3:

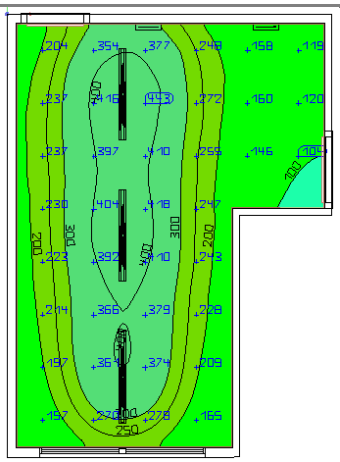
L1TP1 L2PP1 -

FORMA (L1): PONTUAL

$E_{Méd}$: 245 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,41

4,84 W/m² **Isoiluminância**





Dados da matriz

Matriz: **M1.a** Cenário: **C6**

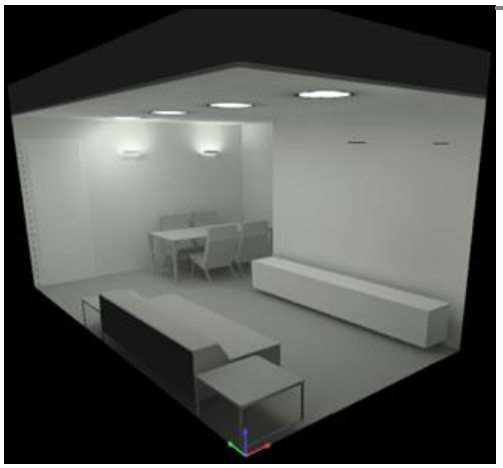
L1: L2: L3:

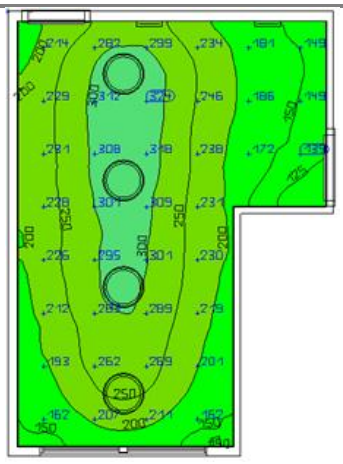
L1TL2 L2PP1 -

FORMA (L1): LINEAR

$E_{Méd}$: 266 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,32

6,67 W/m² **Isoiluminância**





Matriz: **M1.a** Cenário: **C11**

L1: L2: L3:

L1TS3 L2PP1 -

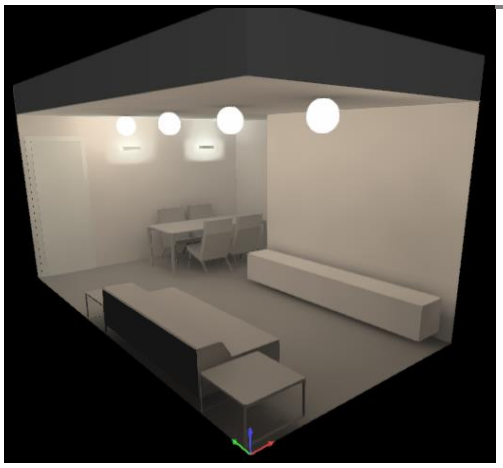
FORMA (L1): SUPERFICIAL

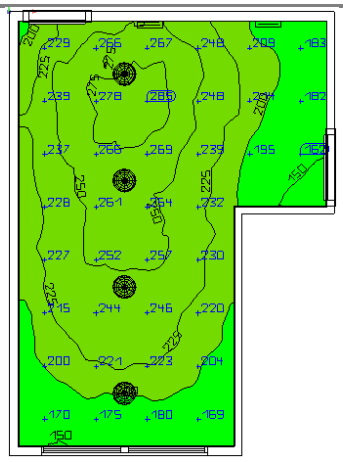
$E_{Méd}$: 232 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,48

4,35 W/m² **Isoiluminância**

Figura 57 - Os diferentes efeitos produzidos na iluminação em função da variação da Forma

(conclusão)





Cenários de formação:

Matriz: **M1.a** Cenário: **C16**

L1: L2: L3:

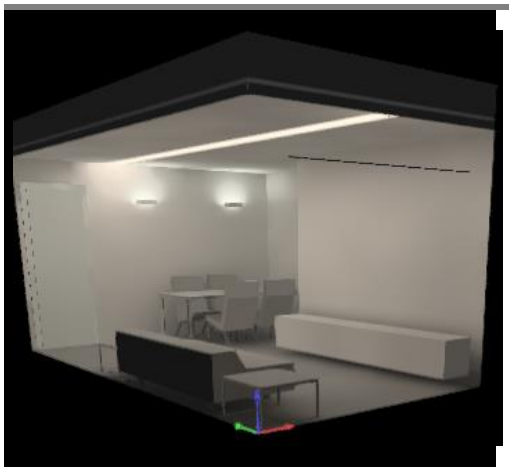
L1TV4 L2PP1 -

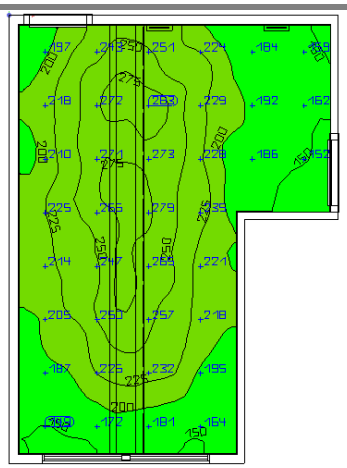
FORMA (L1): VOLUMÉTRICA

5,78 W/m²

Isoiluminância

$E_{Méd}$: 224 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,59





Dados da matriz

Matriz: **M1.a** Cenário: **C21**

L1: L2: L3:

L1TP1 L2PP1 -

FORMA (L1): NÃO VISÍVEL (SANCA)

10,38 W/m²

Isoiluminância

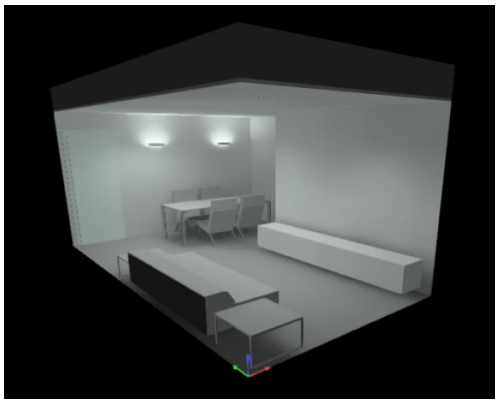
$E_{Méd}$: 245 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,41

Fonte: Autora, 2018.

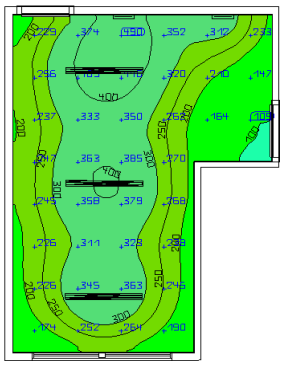
4.2.2.2 A variação da Disposição e a Organização

A DISPOSIÇÃO e a ORGANIZAÇÃO dos sistemas de iluminação no ambiente permitem aumentar a variabilidade de arranjos e de efeitos luminotécnicos atendidos por um sistema de iluminação. Tomando como referência o cenário anterior, C6, a Figura 57 mostra os diferentes efeitos produzidos na iluminação por arranjos formados em função da variação DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO do sistema de iluminação com FORMA linear. A variação da DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO das luminárias no teto acentua as diferenças da distribuição da luz no ambiente para uma mesma DPI, que no caso do cenário C6 é de 6,67 W/m^2 (Figura 58).

Figura 58 - Os diferentes efeitos produzidos na iluminação em função da variação da Disposição e da Organização



6,67 W/m²



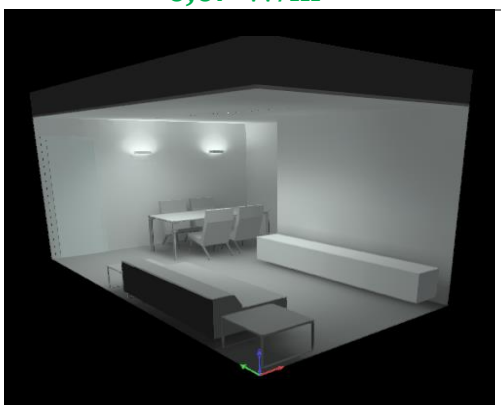
Isoiluminância

Dados da matriz

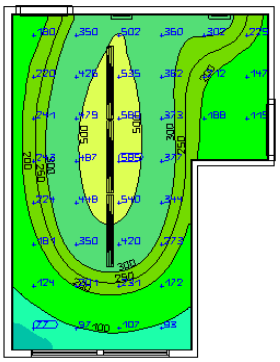
Matriz: **M1.a** Cenário: **C6**

FORMA: **LINEAR**
DISPOSIÇÃO: **ALINHADA**
ORGANIZAÇÃO: **ORDENADA**

$E_{Méd}$: 265 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,36



6,67 W/m²



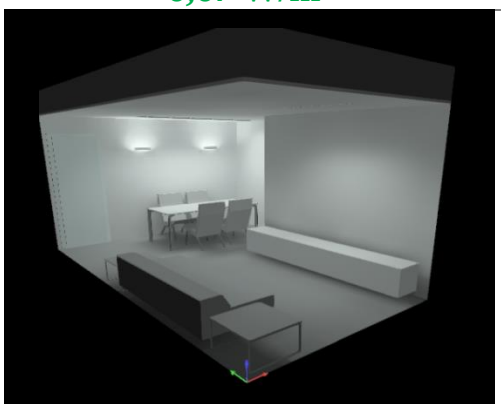
Isoiluminância

Dados da matriz

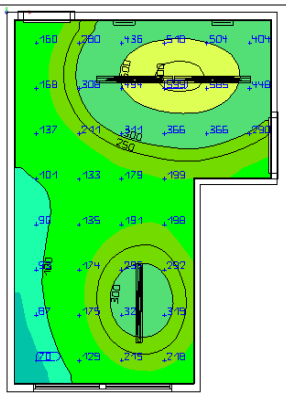
Matriz: **M1.a** Cenário: **C6**

FORMA: **LINEAR**
DISPOSIÇÃO: **AGRUPADA**
ORGANIZAÇÃO: **ORDENADA**

$E_{Méd}$: 278 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,25



6,67 W/m²



Isoiluminância

Dados da matriz

Matriz: **M1.a** Cenário: **C6**

FORMA: **LINEAR**
DISPOSIÇÃO: **SINGULAR**
ORGANIZAÇÃO: **ARBITRÁRIA**

$E_{Méd}$: 263 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,22

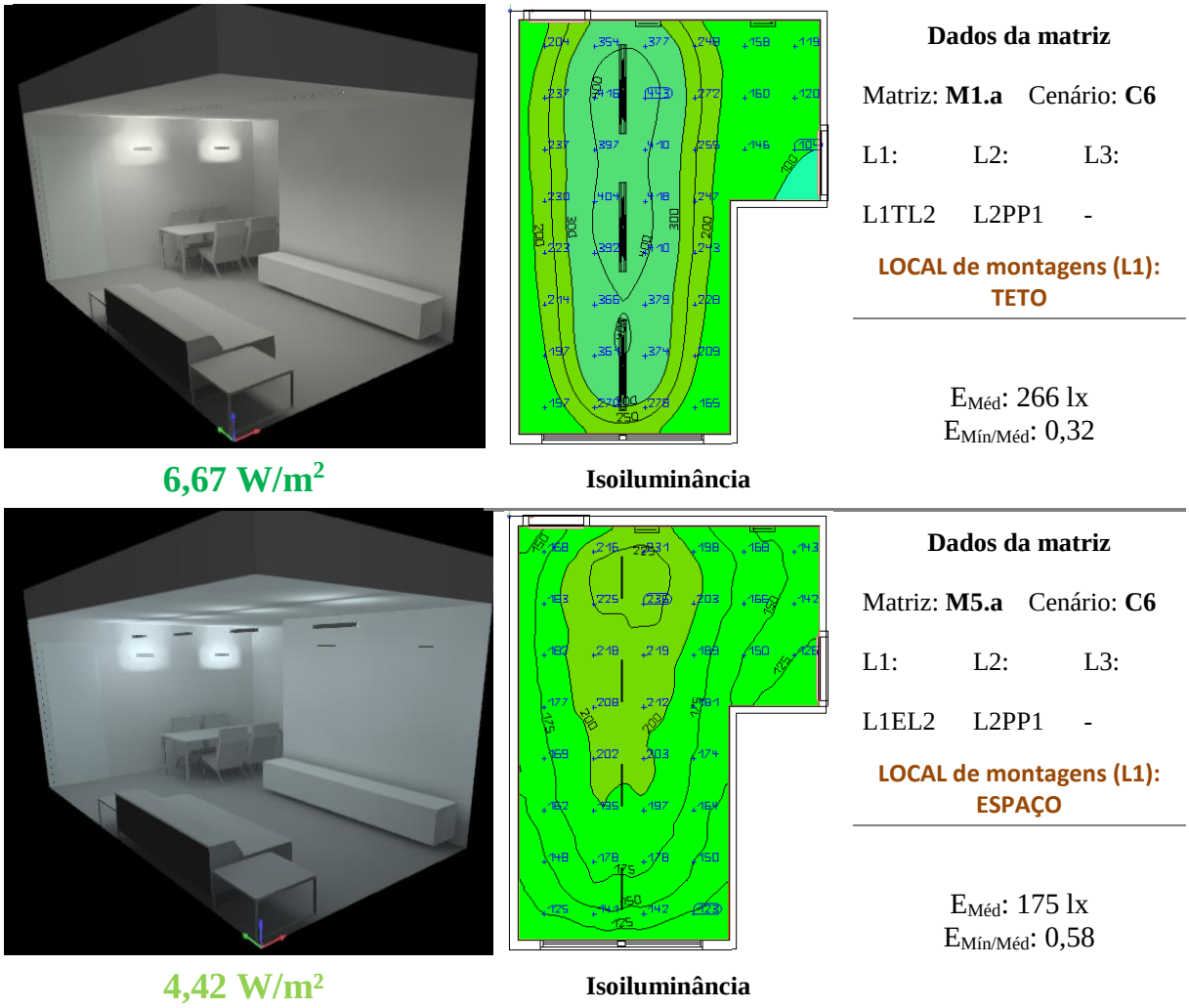
Fonte: Autora, 2018.

O cenário com a disposição arbitrária favorece a iluminação da mesa “de jantar” com maior densidade luminosa. Já o cenário que possui disposição alinhada distribui a luminosidade, permitindo mais uniformidade ao ambiente. Ressaltando as diferenças, ambos os cenários atendem aos distintos aspectos demandados pelo uso residencial.

4.2.2.3 A variação do Local de montagem

A variação da LOCAL de montagem dos sistemas de iluminação no ambiente amplia a variabilidade de arranjos e de efeitos luminotécnicos atendidos por um sistema de iluminação. Tomando como referência o cenário anterior (C6 com FORMA linear), a Figura 59 mostra a variação do LOCAL de instalação dos sistemas de iluminação. O primeiro cenário apresenta a luz com a função de PROTAGONISTA no teto, e o segundo cenário, no espaço (tipo pendente).

Figura 59 - Os diferentes efeitos produzidos na iluminação em função da variação do Local de montagem dos sistemas de iluminação



Fonte: Autora, 2018.

No que se refere à DPI, observa-se que o cenário com a montagem no teto atingiu a DPI de 6,67 W/m^2, superior ao cenário com instalação no espaço (tipo pendente) com 4,42 W/m^2. A diferença de altura de instalação dos sistemas de iluminação – mais abaixo para o pendente,

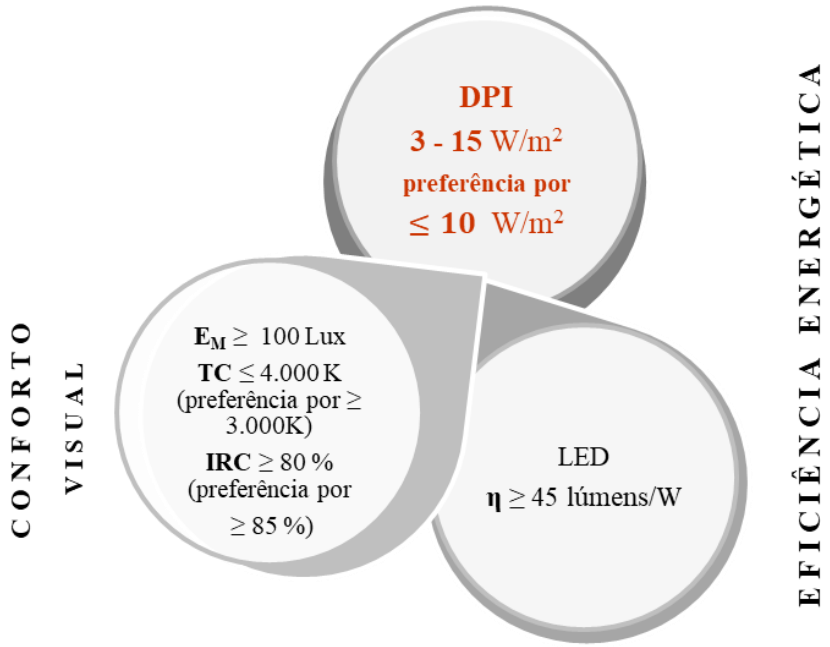
incluindo as características fotométricas da luminária – é um parâmetro que contribui para o menor valor de DPI obtido no cenário no espaço (Figura 59).

A distribuição luminosa produzida pelos sistemas do tipo pendente do tipo semidireta contribuiu para uma maior uniformidade da iluminação no ambiente, se comparada com o sistema de iluminação instalado no teto.

4.3 Indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais

A aplicação da metodologia que possui como referencial os ambientes residenciais – considerando, em particular, a sala de estar/jantar – conforma um conjunto de indicadores intrinsecamente relacionados (Figura 60). Eles expressam aspectos fundamentais na iluminação de residências, moderados por critérios de conforto visual, saúde e eficiência dos sistemas no ambiente.

Figura 60 - Indicadores residenciais a partir da sala de estar/jantar



Fonte: Autora, 2018. Adaptado de ABNT, 2013a; CEC, 2017; IES, 2011.

O grupo de indicadores de conforto visual, como comentado anteriormente, foi estabelecido a partir da investigação das melhores práticas vigentes, em particular as vigentes no estado da Califórnia, EUA (CEC, 2017; CLTC, 2016). Os ajustes ocorreram durante o

processo de criação dos cenários, pois foram encontradas dificuldades ao consultar o banco de dados virtual das empresas delimitadas por este trabalho (DIAL GMBH, 2018d).

Observou-se que os sistemas de iluminação com aplicação residencial em LED são em menor número, se comparados com os sistemas de iluminação que possuem aplicação para o setor comercial. Somando-se a isso, o IRC encontrado nos sistemas possui valores próximos de 85%. Os sistemas com valor superior a 90% são praticamente inexistentes no banco de dados consultado. O rendimento (η) dos sistemas em LED é superior a 45 lúmens/W e está relacionado aos requisitos estabelecidos pelo código da Califórnia (CEC, 2017) para os sistemas em LED de alto desempenho.

O desempenho energético dos diferentes sistemas de iluminação foi estimado por procedimentos desenvolvidos neste trabalho, utilizando modelos nos quais foram simulados cenários de luz. Esses cenários foram agrupados por faixas de desempenho (em DPI); para cada uma delas podem-se elencar características comuns, apresentadas no Quadro 8.

A escala de valores apresentada neste trabalho (Quadro 8) foi construída considerando as melhores práticas vigentes e as melhores tecnologias disponíveis. Nesse sentido, as preferências pessoais e as necessidades intrínsecas do processo de projeto são definidoras do desempenho desejado. Além das recomendações descritas, os critérios de comparação apresentados anteriormente podem auxiliar na tomada de decisão.

A respeito dos indicadores de eficiência energética, o rendimento – η (lm/W) – está relacionado ao objeto (luminária). Por esse motivo, deve ser utilizado de forma integrada com outros indicadores. Já os indicadores relacionados ao efeito produzido no espaço, a DPI (W/m^2), têm ampla aplicação para a LAR.

A faixa com melhores resultados foi obtida com DPI entre 3,5 e 10 W/m^2. As simulações sugerem que entre as diferentes configurações da LAR no ambiente examinado, os cenários com LUZ PROTAGONISTA no ESPAÇO apresentam melhores resultados no que tange à eficiência energética e à distribuição da iluminação no ambiente, seguido do desempenho observado dos sistemas instalados no TETO. Este resultado pode ser atribuído à altura do plano de montagem das luminárias do tipo pendente, que favorece a eficiência luminosa do grupo de cenários com LUZ PROTAGONISTA no ESPAÇO.

Apesar de os cenários que utilizam sancas de luz apresentarem o desempenho com maior DPI entre os cenários examinados, os resultados apontam para a possibilidade de utilização dessa forma de iluminar com desempenho energético dentro da faixa acima mencionada.

Quadro 8 - Recomendações por faixas de DPI

Faixas de DPI	Recomendações
0 – 5 W/m²	▪ Reúne os cenários com baixas iluminâncias. Eles podem ser subdivididos em duas categorias: **Grupo 1: DPI menor que 3,5 W/m²** ▪ As menores DPIs são atribuídas às interações existentes entre L2 e L3, que resultaram em cenários que atendem à iluminação de ambientes que possuem baixa iluminância, decorrente de atividades que exigem níveis mínimos, como, por exemplo, o relaxamento, assistir TV e outras preferências relacionadas à sala de estar. **Grupo 2: Entre 3,5 e 5 W/m²** ▪ Os cenários que possuem DPI a partir de 3,5 W/m² são oriundos da LUZ PROTAGONISTA no ambiente e fornecem alguns exemplos da interação dela com a LUZ COMPLEMENTAR e a SUPLEMENTAR. Os cenários com DPI próximos a 5 W/m² podem assumir as características do grupo a seguir. Vale ressaltar que os cenários contidos nesta faixa estão em conformidade com a preferência por iluminâncias entre 100 e 200 lux para o atendimento das atividades do ambiente.
5 – 10 W/m²	▪ Grupo de maior predominância. Conta com aproximadamente 70% dos cenários de luz; ▪ Reúne uma diversidade de soluções e efeitos luminotécnicos para atender às diferentes preferências; ▪ Esta faixa está direcionada para projetistas que buscam conciliar alto desempenho energético com o atendimento aos aspectos relativos ao agenciamento dos diferentes efeitos luminotécnicos no ambiente.
10 – 15 W/m²	▪ Reúne os cenários com baixas iluminâncias. Eles podem ser subdivididos em duas categorias: **Grupo 1: Entre 10 e 12 W/m²** ▪ Grupo que reúne soluções que atendem à preferência por iluminâncias mais elevadas, se comparadas com os demais. ▪ Contempla também os cenários de luz que contêm as preferências consideradas com maior DPI, como, por exemplo, as sancas de luz associadas com os mais variados tipos de LUZ COMPLEMENTAR e SUPLEMENTAR no ambiente. ▪ Esta faixa está direcionada a projetistas que admitem uma faixa adicional à anterior para atender a requisitos considerados essenciais, relacionados ao efeito luminotécnico produzido pela luz no espaço. **Grupo 2: Entre 12 e 15 W/m²** ▪ Reúne os cenários mais complexos e energívoros, se comparados com os demais cenários contidos nas outras faixas. ▪ A opção por estes cenários está relacionada ao atendimento de critérios específicos do projeto de iluminação, no qual o efeito da luz produzido no espaço é mais importante que a utilização de soluções mais eficientes do ponto de vista energético.

Fonte: Autora, 2018.

A variação da FORMA das luminárias no ambiente demonstrou impactos na DPI no que se refere à eficiência energética obtida. Já a variação da DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO das luminárias no ambiente estudado afeta diretamente a distribuição das iluminâncias e, consequentemente, produz diferentes efeitos luminotécnicos, com maior ou menor variação de intensidade luminosa no ambiente, a depender do arranjo resultante.

Cabe ao projetista a decisão final do projeto de iluminação, resultante da conciliação de aspectos formais do projeto com o desempenho visual e energético da LAR.

O estudo da sala de estar mostrou que a reunião de indicadores de desempenho considerados como as boas práticas disponíveis contribui para a criação de cenários diversos de bom uso da luz em ambientes, favorecendo o desenvolvimento de valores referenciais quanto à eficiência energética dos sistemas de iluminação.

5 CONCLUSÕES

Esta tese buscou desenvolver um conjunto de procedimentos para a avaliação de Indicadores de Desempenho da Iluminação Artificial que expressem, por meio de métricas, o desempenho integrado do conforto visual e da eficiência dos sistemas de iluminação em ambientes residenciais. Para esse fim, foram considerados os indicadores vigentes nas literaturas nacional e internacional e examinados *software*s que apresentavam potencial de aproveitamento para os objetivos pretendidos, levando à proposição de instrumentos que exponham de forma gráfica tais indicadores.

A análise dos indicadores da Iluminação Artificial em Ambientes Residenciais (LAR) apresentou uma pesquisa documental, na qual estão inclusas normas atuais que abordam os indicadores de desempenho visual e eficiência da LAR. Esta pesquisa permitiu identificar lacunas do conhecimento presentes nesses documentos.

A análise comparativa das semelhanças e diferenças mais significativas entre os indicadores examinados demonstrou que os indicadores brasileiros residenciais são genéricos e apresentam pouco rigor, se comparados com a maioria dos indicadores encontrados na literatura internacional. Os indicadores de conforto visual das habitações brasileiras expressos na Norma de Desempenho (ABNT, 2013a), juntamente com o indicador de eficiência da iluminação apresentados na pelo RTQ-R (ELETROBRAS; UFSC, 2014) para as habitações que buscam desempenho energético, estão distantes no que se refere a uma abordagem integrada dos indicadores relativos ao conforto visual e eficiência do ambiente residencial.

A análise identificou que essa lacuna está presente no nível mundial. As tipologias comercial e de serviços apresentam indicadores de desempenho amplamente descritos nas literaturas. Entretanto, o setor residencial possui uma abordagem deficiente, aquém dos demais setores. Tal constatação motivou o desenvolvimento deste trabalho.

Como exemplo desse *déficit* normativo observado na tipologia residencial, há os indicadores introduzidos nas habitações do estado americano da Califórnia, que instituiu critérios locais buscando atender a requisitos de conforto visual e de eficiência em ambientes residenciais. As normas internacionais, a exemplo da ASHRAE *Standard* 90.2 (ASHRAE, 2007), não especificam critérios para a iluminação residencial como verificado nas demais tipologias que se aplicam à ASHRAE 90.1 (ASHRAE, 2016) e à ABNT ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b), o que caracteriza a referida lacuna na área de conhecimento especificada.

A revisão da literatura apontou para boas práticas do estado americano da Califórnia (CEC, 2017), que inova por introduzir indicadores que contribuem para o conforto visual e a saúde em residências. No entanto, observou-se que o referido código apresenta os requisitos dedicados à eficiência energética da iluminação artificial com ênfase apenas no "objeto", ou seja, no desempenho energético dos sistemas de iluminação.

A análise permitiu demonstrar a necessidade de adequação das normas como referencial de projeto de iluminação artificial residencial, fazendo com que integrem as questões anteriormente abordadas. Isso também foi identificado no item seguinte[17], que analisou os indicadores em ambientes virtuais.

Foram examinados diversos *software*s, chegando-se à conclusão de que o *DIALux evo* apresenta bom potencial aos objetivos pretendidos para esta Tese. Por tal motivo, ele foi adotado como parte dos procedimentos aqui desenvolvidos. O trabalho buscou examinar a capacidade do *software DIALux evo 8* para avaliar, concomitantemente, o conforto visual e a eficiência energética em projetos de iluminação artificial de residências. Ao longo do percurso de avaliação, durante as análises de desempenho visual e energéticas, observaram-se questões que dizem respeito aos referenciais normativos do *software*, quanto aos aspectos relacionados à interface com o usuário.

A investigação apresentada no capítulo 2, a respeito do uso do *DIALux evo* como ferramenta que auxilia nos projetos de simulação do desempenho visual e energético, contribuiu para confirmar a existência de uma lacuna normativa que incide na área de iluminação artificial da tipologia residencial, se comparada com as demais tipologias.

As simulações computacionais realizadas por este trabalho utilizaram nos primeiros modelos a versão 4 do *software*. Nesse momento foi identificada a ausência de referenciais normativos para configuração de ambientes residenciais na interface do *software*, levando a se buscar os parâmetros da DIN EN 12464-1 (CEN, 2011), disponibilizados para a tipologia comercial. Parte dessa lacuna foi solucionada pelo *software* a partir da versão 7 (DIAL GMBH, 2017), que incluiu os parâmetros de conforto visual descritos no IES *Lighting Handbook* (IES, 2011) como opção de referencial de projeto.

Ao examinar o *software DIALux evo* verificou-se que apresenta uma boa interface gráfica, permitindo conciliar três aspectos fundamentais: visualização do efeito luminotécnico

[17] Item: 2.4 A simulação computacional e os indicadores da iluminação artificial em ambientes residenciais.

desejado, desempenho do conforto visual e eficiência dos sistemas instalados, possibilitando examinar o impacto decorrente de diferentes decisões projetuais.

Entre as limitações encontradas na ferramenta está a dificuldade de visualização do efeito produzido por diferentes cenários, bem como de compará-los energeticamente. A consulta na página do fabricante permite prever que, em um futuro próximo, tais melhorias estarão comtempladas. Espera-se que o *software DIALux evo* apresente nas próximas versões a criação de novas ferramentas gráficas que favoreçam a visualização de indicadores complementares àqueles determinados atualmente nas análises de desempenho visual e energético; estas contêm uma interface gráfica integrada à visualização do efeito produzido pela luz artificial no modelo de simulação.

O banco de dados *LUMsearch* (DIAL GMBH, 2018d) integrado ao *DIALux evo* é uma importante ferramenta que contribui para a simulação de modelos virtuais, pois aproxima o mercado da iluminação e o projeto, por meio do *software*, favorecendo a introdução de tecnologias mais eficientes no tocante ao impacto decorrente de diferentes decisões projetuais. O aperfeiçoamento dessa ferramenta poderá contribuir para o processo de *benchmark* da iluminação nos ambientes habitados, bem como dos sistemas de iluminação desenvolvidos pelas empresas participantes.

Pelos motivos apresentados, os procedimentos desenvolvidos incluem ferramentas que expressem de forma gráfica a integração de aspectos visuais e energéticos. Com esse fim, a tese incluiu o uso de gráficos do tipo *Heatmap* como ferramenta destinada a auxiliar nas análises energéticas que envolvem a comparação de cenários.

A pesquisa aplicada permitiu avaliar tal instrumento e considerar o uso do *Heatmap* como ferramenta apropriada, podendo ser aplicada caso leve em conta os diversos usos e escalas que envolvam o ambiente habitado. O *Heatmap* foi considerado de aplicação simples e eficaz, sendo recomendado como uma importante ferramenta visual facilitadora da tomada de decisões no que se refere à busca dos melhores desempenhos obtidos pelos cenários simulados.

A opção pelas classificações da iluminação com ênfase no efeito luminotécnico, regidas pela FORMA, DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO (MUROS ALCOJOR, 2012) dos sistemas de iluminação, foi considerada a mais apropriada para este trabalho, porquanto considera a relação espaço/efeito da iluminação produzida no ambiente habitado. Esse método projetual foi ampliado para o atendimento da iluminação de ambientes residenciais, incluindo a

especificação de LOCAIS de montagem desses sistemas contidos no ambiente, o que favorece a determinação de múltiplos cenários em diferentes formas de instalação desses sistemas.

A determinação desses cenários demonstrou uma abordagem integrada que compara soluções e acentua referenciais transitáveis ao universo residencial. Não obstante, o conceito de *benchmark*, por definição, pressupõe o estabelecimento de novas métricas mais desafiadoras.

Por isso, espera-se que a discussão dessa temática desperte o interesse de projetistas e usuários para divulgar seus desempenhos. Será assim possível delimitar valores específicos às diversas aplicações existentes na área residencial. Como consequência, será criado um círculo virtuoso: medir e superar o desempenho, para então melhorar os aspectos de conforto visual e desempenho energético nas habitações.

Este trabalho pretende colaborar para o estabelecimento de uma postura na qual conhecer o desempenho dos sistemas de iluminação artificial se torne um hábito. Como consequência, espera-se que contribua para melhorias nos projetos residenciais no que tange à integração dos aspectos visuais com aqueles relacionados à eficiência nas residências.

Para trabalhos a serem desenvolvidos como desdobramentos desta tese, menciona-se a necessidade de se identificar preferências pessoais, considerando diferentes cenários no que tange à LAR. Sugere-se também o desenvolvimento de novos métodos que permitam avaliações integradas da LAR e que associem valores de iluminância e DPI com efeitos plásticos produzidos pela LAR.

REFERÊNCIAS

ABCB. *ABCB NCC 2016*: building code of Australia. Australia: ABCB, 2016a. v. 1.

ABCB. *ABCB NCC 2016*: building code of Australia. Australia: ABCB, 2016b. v. 2.

ABNT. *ABNT NBR 15575-1:* edificações habitacionais: desempenho parte 1: requisitos gerais Prefácio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ABNT. *ABNT NBR 5413*: iluminância de interiores**.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT. *ABNT NBR ISO/CIE 8995-1*: iluminação de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ASHRAE. *ASHRAE Standard 90.1*: energy standard for buildings except low-rise residential buildings. Atlanta: ASHRAE, 2016.

ASHRAE. *ASHRAE Standard 90.2*: design of low-rise residential buildings. Atlanta: ASHRAE, 2007.

BALOCH, A. A. *et al*. Simulation tools application for artificial lighting in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amesterdã, v. 82, p3, p. 3007–3026, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.035.

BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R. *Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação*. São Paulo: CBCS, 2014. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/Comunicacao%20Tecnica/CBCS_CT%20Energia_Desenvolvimento%20de%20benchmarks%20nacionais%20de%20consumo%20energetico%20de%20edificacoes%20em%20operacao.pdf. Acesso em: 5 jan. 2016.

BRANDÃO, D. Avaliação da qualidade de arranjos espaciais de apartamentos baseada em aspectos morfo-topológicos e variáveis geométricas que influenciam na racionalização construtiva. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 53-56, 2006. ISSN 1678-8621.

BRANDÃO, D. *Diversidade e potencial de flexibilidade de arranjos espaciais de apartamentos*: uma análise do produto imobiliário no Brasil. 2002. 443 f. Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/106529?show=full. Acesso em: 10 jan. 2016.

BRANDÃO, D. Tipificação e aspectos morfológicos de arranjos espaciais de apartamentos no âmbito da análise do produto imobiliário brasileiro. Porto Alegre. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 35-53, 2003. ISSN 1678-8621.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Documento-Base para subsidiar os diálogos estruturados sobre a elaboração de uma estratégia de implementação e financiamento da contribuição nacionalmente determinada do Brasil ao Acordo de Paris.* Brasília, DF: MMA, 2016. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/ndc/documento_base_ndc_2_2017.pdf. Acesso em: 20 maio 2018.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (Brasil). *Selo Casa Azul*: boas práticas para habitação mais sustentável. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.

CBCS. *Benchmarking e etiquetagem energética "em uso" Visão Brasileira*. São Paulo: CBCS, 2013. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/benchmarkingenergia. Acesso em: 10 maio 2014.

CBIC. *Desempenho de edificações habitacionais*: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Brasília, DF: CBIC, 2013.

CBIC. *Energia nas construções*: uma contribuição do setor à redução de emissões e de uso de fontes renováveis de energia. Brasília, DF: CBIC, 2017.

CEC. *Building energy efficiency standards for residential and nonresidential buildings.* California: CEC, 2015. Disponível em: http://www.energy.ca.gov/2015publications/CEC-400-2015-037/CEC-400-2015-037-CMF.pdf. Acesso em: 10 maio 2018.

CEC. *2016 residential compliance manual*: for the 2016 building energy efficiency standards: title 24, part 6, and associated administrative regulations in part 1. California: CEC, 2017. Disponível em: http://www.energy.ca.gov/2015publications/CEC-400-2015-032/CEC-400-2015-032-CMF.pdf . Acesso em: 10 maio 2018.

CEN. *DIN EN 15193-1*: energy performance of buildings: energy requirements for lighting: part 1: specifications, module M9. Berlin: CEN, 2017.

CEN. *DIN EN 12464-1*: light and lighting: lighting of work places. part 1: indoor work places. *Berlin*: CEN, 2011.

CHOI, K.; LEE, J.; SUK, H. J. Context-based presets for lighting setup in residential space. *Applied Ergonomics*, Amesterdã, v. 52, p. 222–231, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.023.

CIE. *CIE 097:* maintenance of indoor electric lighting systems. Vienna: CIE, 2005.

CLTC. *Residential lighting*: what is new in the 2016 title 24, part 6 code? Davis: Publications Guides, 2016. Disponível em: https://cltc.ucdavis.edu/sites/default/files/files/publication/2016_T24_Res_Changes_Jun2016_Update.pdf. Acesso em: 5 maio 2016.

CORDEIRO, A. C. A. *O uso de cobogós como segunda pele em edifícios de escritórios:* análise do desempenho lumínico de diferentes geometrias. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. DOI: 10.11606/D.102.2018.tde-25042018-103424. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-25042018-103424/pt-br.php. Acesso em: 10 jan. 2018.

DEGRA, A. Residência em São Paulo. *Lume Arquitetura*, São Paulo, v. 71, p. 33–38, 2014. Disponível em: https://www.lumearquitetura.com.br/lume/Upload/file/pdf/Ed_71/Case%20-%20Resid%C3%83%C2%AAncia%20em%20S%C3%83%C2%A3o%20Paulo.pdf. Acesso em: 18 jul. 2016.

DIAL GMBH. *DIALux evo 7*: version history. Lüdenscheid: DIAL GMBH, 2017. Disponível em: https://www.dial.de/en/dialux/dialux-desktop/versionshistorie/dialux-evo-70/. Acesso em: 10 jan. 2018.

DIAL GMBH. *DIALux evo 8*: version history. Lüdenscheid: DIAL GMBH, 2018a. Disponível em: https://www.dial.de/en/dialux-desktop/versionhistory/dialux-evo-8/. Acesso em: 15 ago. 2018.

DIAL GMBH. *DIALux evo manual*: a collection of all wiki articles. Lüdenscheid: DIAL GMBH, 2018b. Disponível em: http://en.wiki.dialux.com/index.php/Main_Page. Acesso em: 10 jan. 2018.

DIAL GMBH. *LDT Editor 1.2*: Program. Lüdenscheid: DIAL GMBH, 2018c. Disponível em: https://www.dial.de/en/ldt-editor/. Acesso em: 10 jan. 2018.

DIAL GMBH. *LUMsearch DIAL*: the DIALux product finder. Lüdenscheid: DIAL GMBH, 2018d. Disponível em: https://www.dial.de/en/lumsearch/. Acesso em: 10 jan. 2018.

DIAS, M. *et al*. Iluminação e saúde humana: estado da arte em dispositivos de medição de luz no nível dos olhos. *Pós: Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, São Paulo, v. 21, n. 36, p. 210-227, 2015. DOI: https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v21i36p210-227.

DUFFY, J. F.; CZEISLER, C. A. Effect of light on human circadian physiology. *Sleep Medicine Clinics*, Amsterdã, v. 4, n. 2, p. 165–177, 2009. DOI: http://doi.org/10.1016/j.jsmc.2009.01.004.

DUPUY, R.; GUARNACCIA, G.; NOELL-WAGGONER, E**.** *Lighting, low vision & building codes.* 2013. Presented at the National Institute of Building Sciences Low Vision Design Committee Symposium Washington, 2013. Disponível em: https://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/LVDC/lvdc2013_paper_guarnaccia.pdf . Acesso em: 10 maio 2018.

EEA. *EEA core set of indicators*: EEA technical report no 1/2005. Copenhagen: EEA, 2005. Disponível em: https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2005_1. Acesso em: 10 maio 2014.

ELETROBRAS; UFSC. *Manual de aplicação do RTQ-C. 4.1*: versão 3. Brasília, DF: ELETROBRAS, 2015. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual_rtqc2016.pdf . Acesso em: 10 ago. 2017.

ELETROBRAS; UFSC. *Manual para aplicação do RTQ-R 4.2*: residencial: versão 1. Com base na Portaria nº 18/2012. Brasília, DF: ELETROBRAS, 2014. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/Manual_de_aplica%C3%A7%C3%A3o_do_%20RTQ-R-v01.pdf. Acesso em: 10 ago. 2017.

EPE. *Nota Técnica DEA 001/17*: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). Rio de Janeiro: EPE, 2017a. (Série Estudo de Demanda).

EPE. *Nota Técnica EPE-DEA 23/17*: 2a revisão quadrimestral das projeções da demanda de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional: 2017-2021. Rio de Janeiro: EPE, 2017b. (Série Estudo de Demanda).

ESPAÑA. Ministério de Fomento. *Código técnico de la edificación de España*: documento básico DB-HE: ahorro de energía. Madrid: Boletín Oficial Del Estado, 2013. p. 67137–67209.

FEDRIGO, N. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. Usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2009, Natal. *Anais* [...] Porto Alegre: ANTAC, 2009. p. 367-376.

FIGUEIRO, M. G. Why field measurements of circadian light exposure are important. *Lighting Research & Technology*, New York, v. 45, n. 1, p. 6–6, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1177/1477153512473709.

FIGUEIRO, M. G.; NAGARE, R.; PRICE, L. L. A. Non-visual effects of light: how to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. *Lighting Research & Technology*, New York, v. 50, n. 1, p. 38–62, 2018. DOI: https://doi.org/10.1177/1477153517721598.

FIGUEIRO, M. G.; PLITNICK, B.; REA, M. S. The effects of chronotype, sleep schedule and light/dark pattern exposures on circadian phase. *Sleep Medicine,* Amsterdã, v. 15, n. 12, p. 1554-1564, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sleep.2014.07.009.

FLYNN, J. E. *et al.* Interim Study of Procedures for Investigating the Effect of Light on Impression and Behavior. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, [*s.l.*], v. 3, n. 1, p. 87–94, 1973. DOI: https://doi.org/10.1080/00994480.1973.10732231. Disponível em: https://www.brikbase.org/sites/default/files/ies_040.pdf. Acesso em: 10 maio 2015.

FLYNN, J. E. *et al.* A guide to methodology procedures for measuring subjective impressions in lighting. *Journal of the Illuminating Engineering* Society, *[s.l.]*, v. 8, n. 2, p. 95–110, 1979. Doi: https://doi.org/10.1080/00994480.1979.10748577. Disponível em: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00994480.1973.10732231. Acesso em: 10 Maio 2015.

FOLGUERA CAVEDA, E.; MUROS ALCOJOR, A. *La iluminación artificial es arquitectura.* Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2013. ISBN 9788498804652. (Iniciativa Digital Politècnica - UPCGrau). Disponível em: http://hdl.handle.net/2099.3/36601. Acesso em: 15 maio 2017.

FRAMPTON, K. *Studies in tectonic culture*: the poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture. Cambridge: MIT PRESS, 1995.

FRIENDLY, M. Mosaic Displays for multi-way contingency tables. *Journal of the American Statistical Association*, Boston, v. 89, n. 425, p. 190–200, 1994. DOI: 10.2307/2291215.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. AQUA - HQE. *Referencial de avaliação da qualidade ambiental de edifícios residenciais em construção*. São Paulo: F. Vanzolini, 2014.

GASTON, K. J.; VISSER, M. E.; HÖLKER, F. The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B.* Biological Sciences, London, v. 370, n. 1667, p. 20140133-, 2015. DOI: 10.1098/rstb.2014.0133

GBC BRASIL. *Referencial GBC Brasil Casa.* São Paulo: GBC, 2014.

GRONDZIK, W. T.; KWOK, A. G. O processo de projeto. *In*: *Manual de Arquitetura Ecológica*. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GUTH, S. K.; MCNELIS, J. F. Visual performance: a comparison in terms of detection of presences and discrimination of detail. *Illuminating Engineering*, New York, 32–36, 1968. Disponível em: http://media.ies.org/docs/research/100papers/043.pdf. Acesso em: jun. 2015.

IES. *The lighting handbook*. 10th. New York: IES, 2011.

IES. *Discover lighting*: an introduction to lighting basics. [New York.]: IES, 2015. Disponível em: http://www.ies.org/lighting/. Acesso em: out. 2015.

ILUMINAR. *Catálogo Iluminar*. 2018. Disponível em: https://view.publitas.com/iluminar-brasil/catalogo-iluminar-marco-de-2018/page/290-291. Acesso em: 15 jan. 2018.

IPCC. *Climate change 2014*: synthesis report. Geneva, Switzerland: IPCC, 2015. Disponivel em: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acesso em: 20 maio 2017.

JARGAS, A. M. *Shell script profissional*. São Paulo: Novatec, 2008.

KAEMPF, J.; PAULE, B. *Lighting retrofit in current practice evaluation of an international survey:* a technical report of iea shc task 50. advanced lighting solutions for retrofitting buildings. Switzerland: IEA Solar Heating and Cooling Programme, 2016.

KANIZSA, G. *Organization in vision*: essays on gestalt perception. Santa Bárbara: Praeger, 1979.

KELLY, R. Lighting as an Integral Part of Architecture. *College Art Journal*, [*s.l.*], v. 12, n. 1, p. 24, 1952. DOI: 10.1080/15436322.1952.11466295

KIM, H.-J.; WOO, S.; KIM, H. Experimental Study on Living Room Lighting Environment for Residential Activities. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, [Korea], v. 27, n. 1, p. 10–16, 2013. DOI: 10.5207/JIEIE.2013.27.1.010.

KIM, I. T.; CHOI, A. S.; SUNG, M. K. Development of a colour quality assessment tool for indoor luminous environments affecting the circadian rhythm of occupants. Building and Environment, Amsterdã, v. 126, n. Sep., p. 252–265, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.009.

KNEZ, I. Effects of indoor lighting on mood and cognition. *Journal of Environmental Psychology*, Amsterdã, v. 15, n. 1, p. 39–51, 1995. DOI: 10.1016/0272-4944(95)90013-6

LAM, W. M. C. *Perception and lighting as formgivers for architecture*. New York: McGraw-Hill Inc., 1977.

LANCELLE, L. DIALux evo: evolução ? *Lume Arquitetura*, São Paulo, v. 62, p. 68–72, 2013. Disponível em: https://www.lumearquitetura.com.br/lume/Upload/file/pdf/ed_62/ed_62%20-%20Artigo%20DIALux%20Lancelle.pdf. Acesso em: 10 maio 2015.

LANCELLE, L. O benefício do uso de softwares de iluminação. *Lume Arquitetura*, São Paulo, v. 68, p. 10–12, 2014. Disponível em: https://www.lumearquitetura.com.br/lume/Upload/file/pdf/Ed68/En%20-%20Luis%20Lancelle.pdf. Acesso em: 10 maio 2015.

LOE, D. L. Light, vision and illumination: The interaction revisited. *Lighting Research and Technology*, v. 48, n. 2, p. 176–189, 2016. http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1477153515572240 . Acesso em: 5 jan. 2017. Doi: 10.1177/1477153515572240

LUCAS, R. J. et al. Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, v. 37, n. 1, p. 1–9, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tins.2013.10.004.

MARTAU, B. T. A luz além da visão. *Lume Arquitetura*, São Paulo, v. 7, p. 62–68, 2009. Disponível em: http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed38/ed_38%20AT%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20e%20Sa%C3%BAde.pdf. Acesso em: 10 maio 2015.

MARTAU, B.; KUBASKI, F. Iluminação, caráter e emoção: o papel da luz na concepção da arquitetura para os sentidos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 10., 2012, São Luiz. *Anais* [...]. São Luiz: UFMA, 2012. p.4703-4711.

MELO, Y. R. C. Software para iluminação. *Lume Arquitetura*, São Paulo, v. 76, 2015. Disponível em: http://www.lumearquitetura.com.br/lume/Upload/file/pdf/eD76/ed_76%20AT%20Software.pdf. Acesso em: 10 maio 2015.

MENDONÇA, R. N.; VILLA, S. B. Apartamento mínimo contemporâneo: desenvolvimento do conceito de uso como chave para obtenção de sua qualidade. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, p. 251–270, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000400117. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ac/v16n4/1678-8621-ac-16-04-0251.pdf. Acesso em: 10 jun 2017.

MESHKOVA, T. V.; BUDAK, V. P. Dialux 4.10 and Dialux Evo - Main Differences. *Light & Engineering*, Lüdenscheid, v. 21, n. 4, p. 58–63, 2013. ISSN 0236-2945.

METSALU, T.; VILO, J. ClustVis: a web tool for visualizing clustering of multivariate data using Principal Component Analysis and heatmap. *Nucleic Acids Research*, London, v. 43, n. W1, p. W566–W570, 2015. DOI: 10.1093/nar/gkv468.

MILLET, M. S. *Light revealing architecture*. Seattle: Wiley, 1996.

MONEDERO, J. *Simulación visual de la iluminación*: teoría. técnicas. análisis de casos. Barcelona: Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC, 2015a. Disponível em: http://hdl.handle.net/2117/80463. Acesso em: 15 Ago. 2018.

MONEDERO, J. *Simulación visual de materiales*: teoria, técnicas, análisis de casos. Barcelona: Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC, 2015b. Disponível em: http://hdl.handle.net/2117/82368. Acesso em: 15 ago. 2018.

MONREAL, A. C.; MCMEEKIN, A.; SOUTHERTON, D. Beyond acquisition: Exploring energy consumption through the appreciation and appropriation of domestic lighting in the UK. *Sustainable Production and Consumption*, Amsterdã, v. 7, n. July, 2015, p. 37–48, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2016.02.002.

MORAES, J. S. de; MUROS ALCOJOR, A.; BITTENCOURT, L. S. Análise de indicadores de desempenho da iluminação artificial em ambientes residenciais. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 9, n. 1, p. 35-46, mar. 2018. ISSN 1980-6809. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v9i1.8650219. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650219. Acesso em: 3 ago. 2018.

MOURA, M. *Iluminação*: análise de cenários utilizando a tecnologia led. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://www.poscivil.uff.br/conteudo/iluminacao-analise-de-cenarios-utilizando-tecnologia-led. Acesso em: 10 jan. 2017.

MUROS ALCOJOR, A. *La Luz:* de herramienta a linguaje: una nueva metodología de iluminación artificial en el proyecto arquitectónico, 2012. (Doctoral en Energia y Medio ambiente en la Arquitectura) - Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, 2012. Disponível em: http://hdl.handle.net/2117/94604. Acesso em: 25 mar. 2017.

NAGARE, R.; PLITNICK, B.; FIGUEIRO, M. Effect of exposure duration and light spectra on nighttime melatonin suppression in adolescents and adults. *Lighting Research & Technology*, 2018. DOI: https://doi.org/10.1177/1477153518763003.

NEVES, J. C. *Programação Shell Linux***.** 11th ed. São Paulo: BRASPORT, 2017.

NOBEL PRIZE. *Press release*: the 2017 nobel prize in physiology or medicine. [*S.l*: *s.n*], 2017. Disponível em: https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2017/press-release/. Acesso em: 18 jun. 2018.

ONU. *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento:* Agenda 21. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 1992.

ONU. *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment*. Stockholm, 1972.

OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, Amsterdã, v. 29, n. 2, p. 99–120, 2008. DOI: 10.1016/j.destud.2007.12.003.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, Amsterdã,v. 27, n. 3, p. 229–265, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.11.002.

OXMAN, R. Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. *Design Studies*, Amsterdã, v. 52, p. 4–39, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001.

PAPAMICHAEL, K. *et al.* High color rendering can enable better vision without requiring more power. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, Reino Unido, v. 12, n. 1–2, p. 27–38, 2016. DOI: https://doi.org/10.1080/15502724.2015.1004412.

PETTY, M. M. Richard Kelly: defining a modern architecture of light. *ERCO Lichtbericht*, [*s.l.*], 82, p. 16–20, 2007. Lüdenscheid: ERCO. Disponível em: https://www.erco.com/download/content/30-media/1-lighting_report/021-de-erco-lb82/erco-lichtbericht-82-en.pdf. Acesso em: jun. 2017.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R. *A language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2005.

R FOUNDATION. *The R project for statistical computing.* Disponível em: https://www.r-project.org/. Acesso em: 15 jun. 2017.

REA, M. S.; FIGUEIRO, M. G. Light as a circadian stimulus for architectural lighting. *Lighting Research and Technology*, [*s.l.*], v. 50, n. 4, p. 497–510, 2016. DOI: https://doi.org/10.1177/1477153516682368.

REA, M. S. *et al.* Circadian light. *Journal of Circadian Rhythms*, London, v. 8, n. 1, p. 2, 2010. DOI: http://doi.org/10.1186/1740-3391-8-2. Disponível em: https://www.jcircadianrhythms.com/articles/10.1186/1740-3391-8-2/. Acesso em: 15 jun. 2014.

ROMERO, M. DE A.; REIS, L. B. DOS. *Eficiência energética em edifícios*. São Paulo: Manole, 2012.

SÁ, C. Softwares de iluminação: um raio X dos mais populares. *Lume Arquitetura*, São Paulo, p. 32–37, 2010. Disponível em: www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed40/ed_40 Software.pdf. Acesso em: 10 maio 2015.

SOUZA, D. F. DE. DIALux: uma ferramenta em constante evolução. *Lume Arquitetura*, São Paulo, v. 88, p. 30-46, 2017. Disponível em: http://www.lumearquitetura.com.br/pdf/ed49/Software%20-%20DIALux.pdf. Acesso em: 5 jan. 2018.

SSL. *Lighting guide 9*: lighting for communal residential buildings. London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 2013.

SSL. *The SLL Lighting Handbook*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers, 2009.

SSL. *LG11 Lighting Guide 11:* surface reflectance & colour - LG11. London: CIBSE, 2001.

TRAMONTANO, M. C. *Novos modos de vida, novos espaços de morar, Paris, São Paulo, Tokyo*: uma reflexão sobre a habitação contemporânea. 1998. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

TRIANA, M. A.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterisation of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. *Energy Policy***,** Amsterdã, v. 87, n. Dec. 2014, p. 524–541, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.08.041.

VAN HOOF, J. *et al*. High colour temperature lighting for institutionalised older people with dementia. *Building and Environment*, Amsterdã, v. 44, n. 9, p. 1959–1969, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.01.009.

WILKINSON, L.; FRIENDLY, M. The history of the Cluster Heat Map. *American Statistician*, Reino Unido, v. 63, n. 2, p. 179–184, 2009. DOI: 10.1198/TAS.2009.0033.

GLOSSÁRIO

O Glossário a seguir reúne os termos técnicos considerados representativos para o entendimento da tese. As definições apresentadas foram selecionadas dos seguintes documentos: I. Requisitos técnicos (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015); II. ABNT NBR 15575-1 Edificações Habitacionais (ABNT, 2013a); III. Guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013 (CBIC, 2013); IV. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013b).

AMBIENTE	Espaço interno de uma edificação, fechado por superfícies sólidas, tais como paredes ou divisórias piso-teto, teto, piso e dispositivos operáveis tais como janelas e portas (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	Especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados (ABNT, 2013a).
DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO – DPI	Razão entre o somatório da potência de lâmpadas e reatores e a área de um ambiente. Unidade: W/m^2 (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
DENSIDADE DE POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO LIMITE – DPI_L	Limite máximo aceitável de DPI. A Densidade de Potência de Iluminação Limite (DPI_L) está diretamente relacionada ao nível de iluminância necessário nos planos de trabalho. Ou seja, é necessário identificar qual a atividade a ser executada em cada ambiente ou edifício (escritórios, banheiros, área de refeição de restaurantes, cozinhas de restaurantes, etc.) para saber qual é a densidade considerada eficiente. Unidade: W/ m^2 (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
DENSIDADE DE POTÊNCIA RELATIVA	Densidade de potência total instalada para cada 100 lux de Iluminância. Unidade: W/m^2 por 100 lux (ESPAÑA, 2013. Adaptado pela autora).
DESEMPENHO	Comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas (ABNT, 2013a).

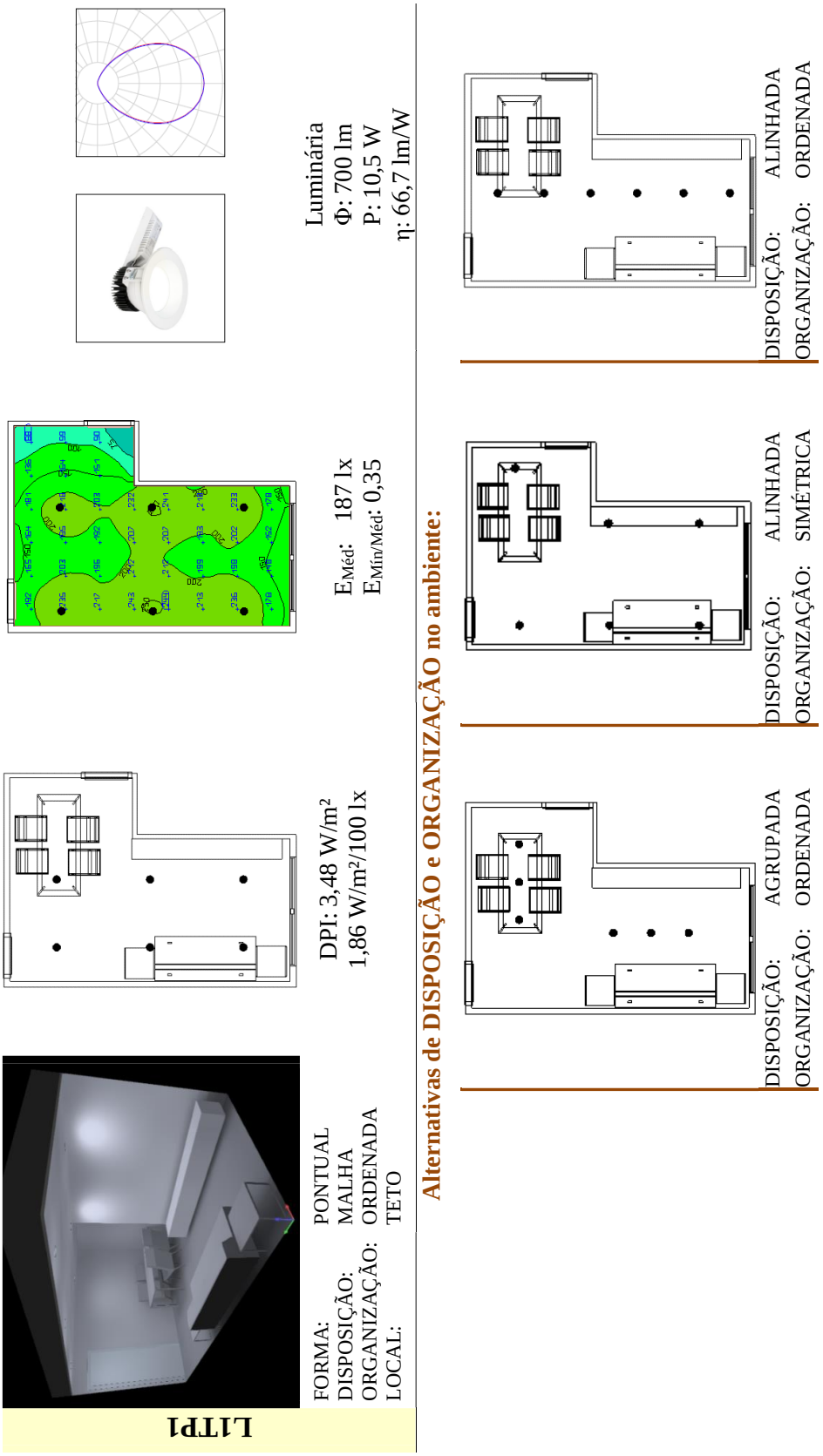
EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR	Edificação que possui mais de uma unidade habitacional autônoma (UH) em um mesmo lote, em relação de condomínio, podendo configurar edifício de apartamentos, sobrado ou grupamento de edificações. (Observação: casas geminadas ou "em fita", quando situadas no mesmo lote, enquadram-se nesta classificação). Estão excluídos desta categoria hotéis, motéis, pousadas, apart-hotéis e similares (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL	Edificação utilizada para fins habitacionais, que contenha espaços destinados ao repouso, alimentação, serviços domésticos e higiene, não podendo haver predominância de atividades como comércio, escolas, associações ou instituições de diversos tipos, prestação de serviços, diversão, preparação e venda de alimentos, escritórios e serviços de hospedagem, sejam eles hotéis, motéis, pousadas, apart-hotéis ou similares. No caso de edificações de uso misto, que possuem ocupação diversificada englobando mais de um uso, estes devem ser avaliados separadamente (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
EDIFICAÇÃO UNIFAMILIAR	Edificação que possui uma única unidade habitacional autônoma (UH) no lote (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
EFICIÊNCIA LUMINOSA (η) (lm/W)	Quociente entre fluxo luminoso emitido, em lumens, pela potência consumida, em Watts (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
HEATMAP	Forma gráfica de exibir uma tabela de números usando cores para representar valores numéricos. Relacionam linhas e/ou colunas em conjunto por similaridade (R FOUNDATION, 2017).
ILUMINAÇÃO DE TAREFA	Iluminação direcionada a uma superfície ou área específica, que proporciona o nível de iluminamento adequado e sem ofuscamento para realização de tarefas visuais específicas. A iluminação de tarefa é diferenciada da iluminação geral por não abranger todas as superfícies e deve ter controle independente (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
ILUMINÂNCIA MANTIDA (E_m)	Valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida (ABNT, 2013b).

ÍNDICE LIMITE DE OFUSCAMENTO UNIFICADO	Valor máximo permitido do nível de ofuscamento unificado de um projeto para uma instalação de iluminação. Ver detalhamento do índice na norma (ABNT, 2013b).
ÍNDICE REPRODUÇÃO DE COR (IRC)	Valor percentual que fornece uma indicação objetiva das propriedades de reprodução de cor de uma fonte de luz (ABNT, 2013b).
NÍVEL DE DESEMPENHO	Em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e de economia, são estabelecidos para os diferentes sistemas requisitos mínimos de desempenho (M) que devem ser considerados e atendidos (ABNT, 2013a).
NORMA DE DESEMPENHO	Conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para uma edificação habitacional e seus sistemas, com base em exigências do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes (ABNT, 2013a).
REQUISITOS DE DESEMPENHO	Condições que expressam quantitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender aos requisitos do usuário (CBIC, 2013).
RETROFIT	Remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil, eficiência operacional (ABNT, 2013a).
TAREFAS VISUAIS	Designa as atividades que necessitam identificar detalhes e objetos para o desenvolvimento de certa atividade, o que inclui o entorno imediato destes detalhes ou objetos (ELETROBRAS; UFSC, 2014, 2015).
TEMPERATURA DE COR CORRELATA	Refere-se à cor aparente (cromaticidade da lâmpada) da luz que ela emite. É dividida em 3 faixas: Quente – abaixo de 3.300K; Intermediária – entre 3.300K e 5.300K; Fria – acima de 5.300K (ABNT, 2013b).

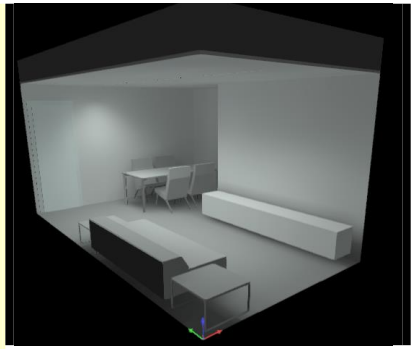
UNIFORMIDADE	Razão entre o valor da iluminância mínima (E_{min}) e a média (E_{med}) (ABNT, 2013b).
USUÁRIO	Proprietário, titular de direitos ou pessoa que ocupa a edificação habitacional (CBIC, 2013).

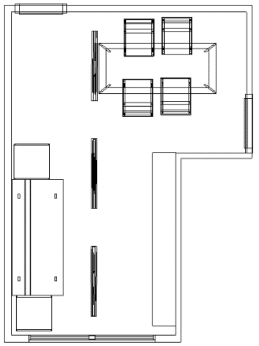
ANEXOS

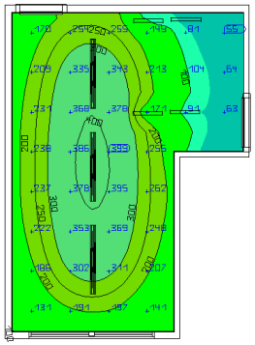
Anexo A - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Protagonista no teto

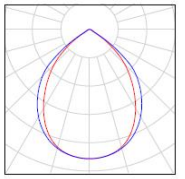


L1TL2









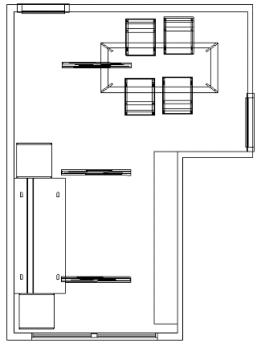
FORMA: LINEAR
DISPOSIÇÃO: ALINHADA
ORGANIZAÇÃO: ORDENADA
LOCAL: TETO

DPI: 5,31 W/m²
2,22 W/m²/100 lx

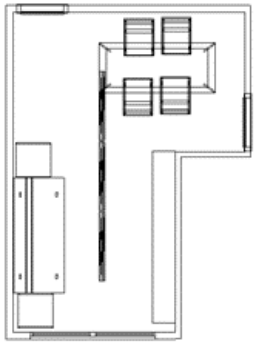
$E_{Méd}$: 239 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,21

Φ: 3136 lm
P: 64,0 W
η: 49,0 lm/W

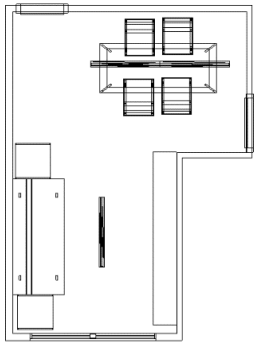
Alternativas de DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO no ambiente:



DISPOSIÇÃO: ALINHADA
ORGANIZAÇÃO: ORDENADA

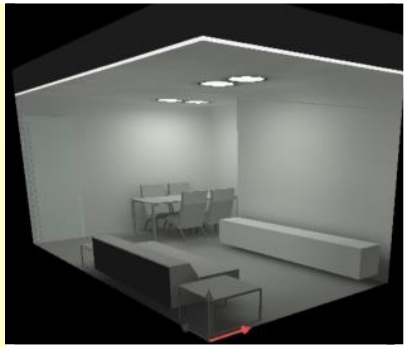


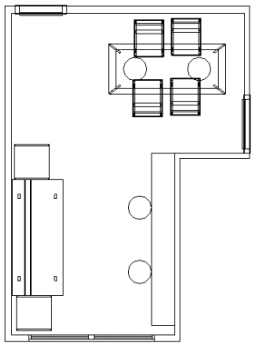
DISPOSIÇÃO: AGRUPADA
ORGANIZAÇÃO: ORDENADA

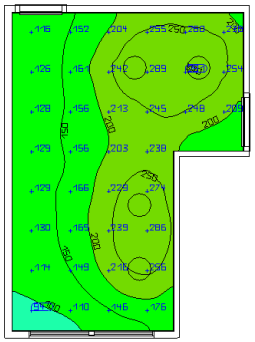


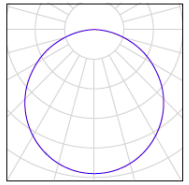
DISPOSIÇÃO: SINGULAR
ORGANIZAÇÃO: ARBITRÁRIA

L1TS3









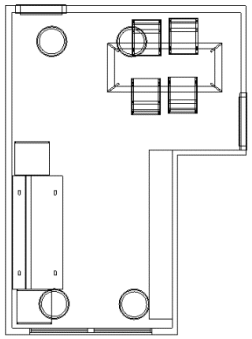
FORMA:	SUPERFICIAL
DISPOSIÇÃO:	AGRUPADA
ORGANIZAÇÃO:	ORDENADA
LOCAL:	TETO

DPI: 2,99 W/m²
1,56 W/m²/100 lx

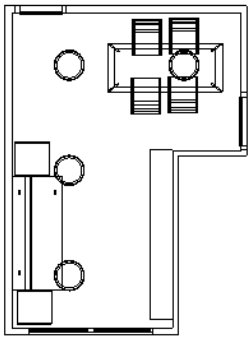
$E_{Méd}$: 191 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,41

Φ: 1150 lm
P: 13,5 W
η: 85,2 lm/W

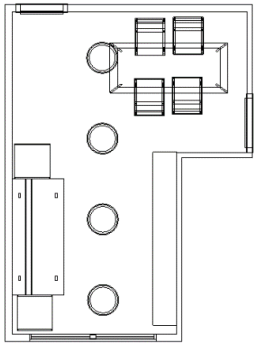
Alternativas de DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO no ambiente:



DISPOSIÇÃO:	AGRUPADA
ORGANIZAÇÃO:	SIMÉTRICA

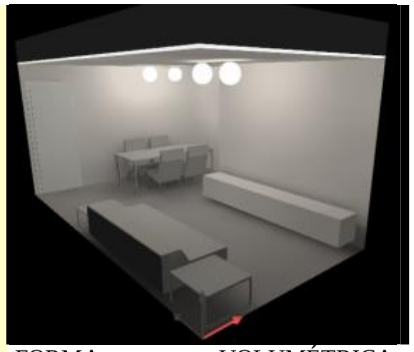


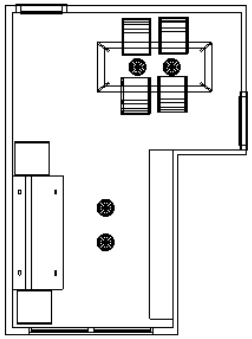
DISPOSIÇÃO:	SINGULAR
ORGANIZAÇÃO:	ORDENADA

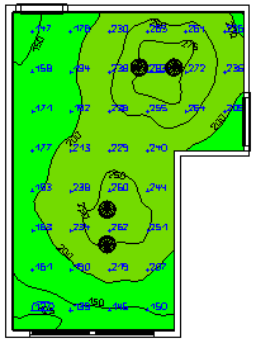


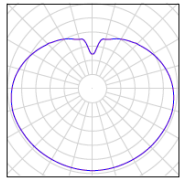
DISPOSIÇÃO:	ALINHADA
ORGANIZAÇÃO:	ORDENADA

L1TV4









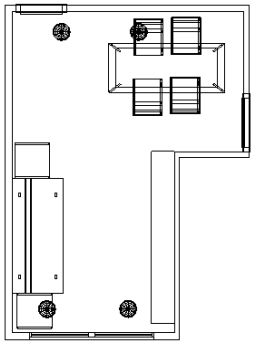
FORMA: VOLUMÉTRICA
DISPOSIÇÃO: AGRUPADA
ORGANIZAÇÃO: ORDENADA
LOCAL: TETO

DPI: 4,42 W/m²
1,85 W/m²/100 lx

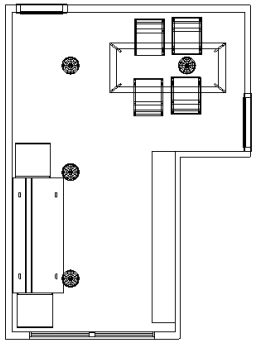
$E_{Méd}$: 212 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,58

Φ: 1811 lm
P: 20,0 W
η: 90,5 lm/W

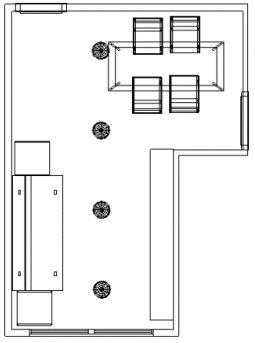
Alternativas de DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO no ambiente:



DISPOSIÇÃO: AGRUPADA
ORGANIZAÇÃO: SIMÉTRICA



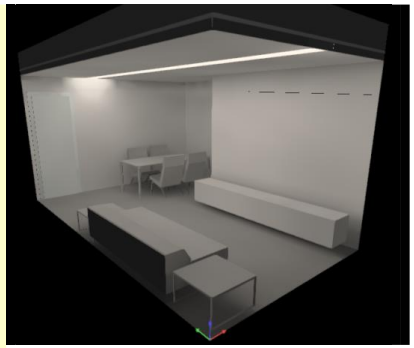
DISPOSIÇÃO: SINGULAR
ORGANIZAÇÃO: ORDENADA



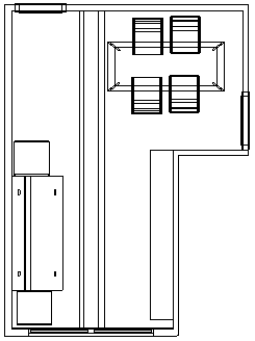
DISPOSIÇÃO: ALINHADA
ORGANIZAÇÃO: ORDENADA

Fonte: Autora, 2018.

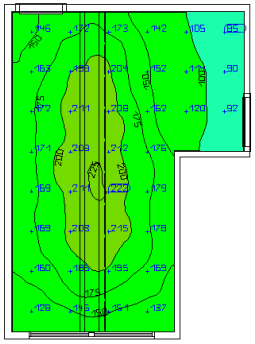
L1TI5



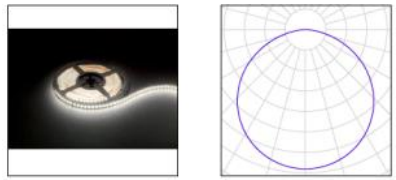
NÃO VISÍVEL



DPI: 9,02 W/m²
5,40 W/m²/100 lx



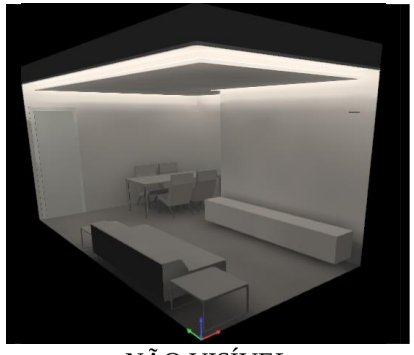
$E_{Méd}$: 164 lx
$E_{Mín/Méd}$: 0,46



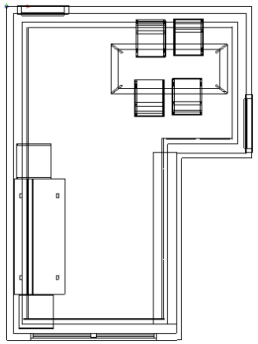
Φ: 717 lm
P: 8,0 W
η: 89,6 lm/W

Alternativas de DISPOSIÇÃO e ORGANIZAÇÃO no ambiente:

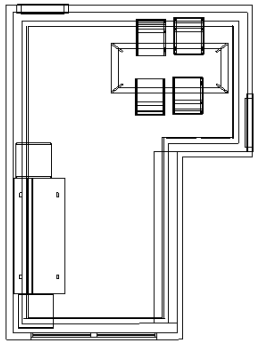
Outras opções de sancas



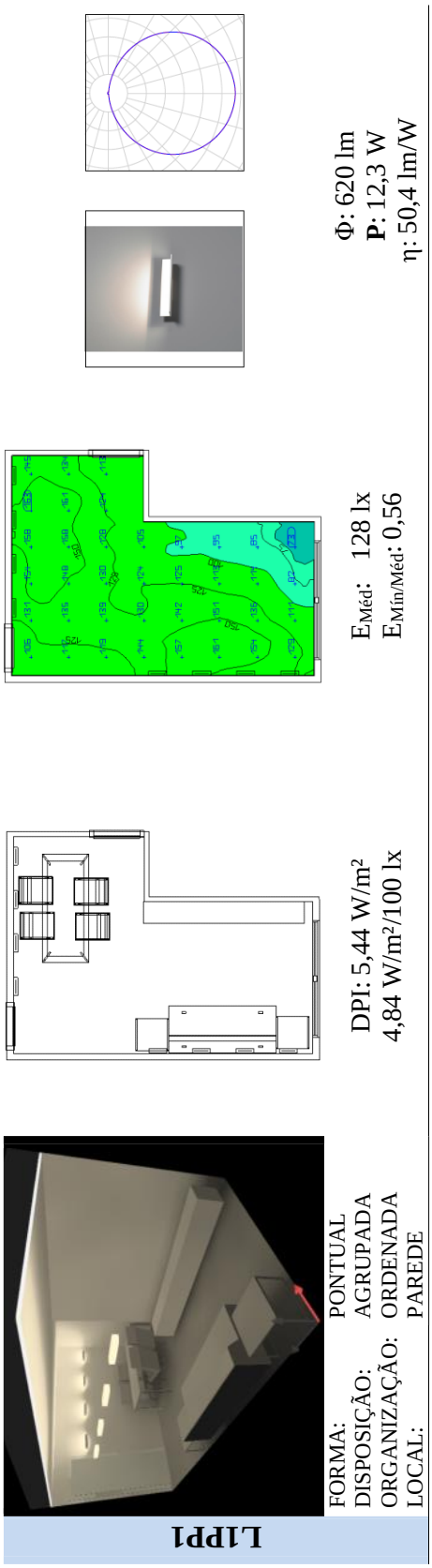
NÃO VISÍVEL

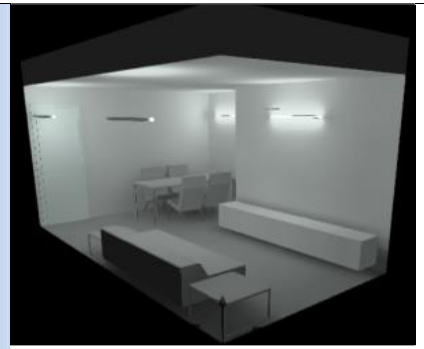
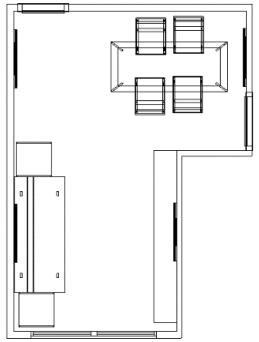
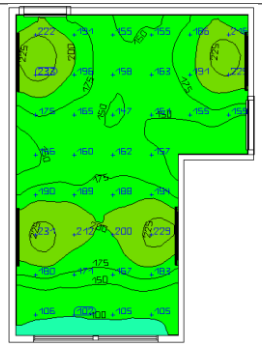
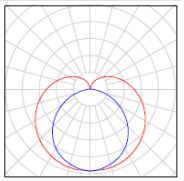
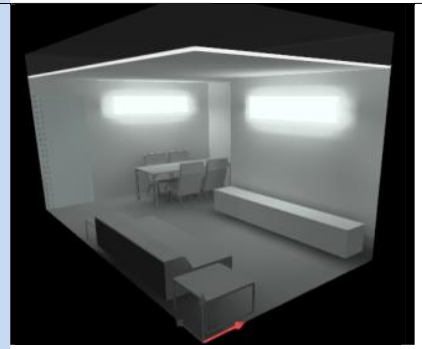
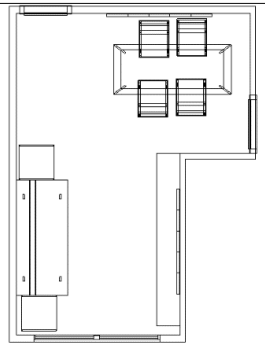
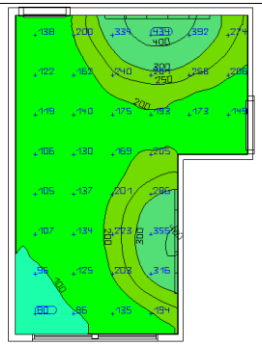
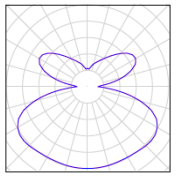


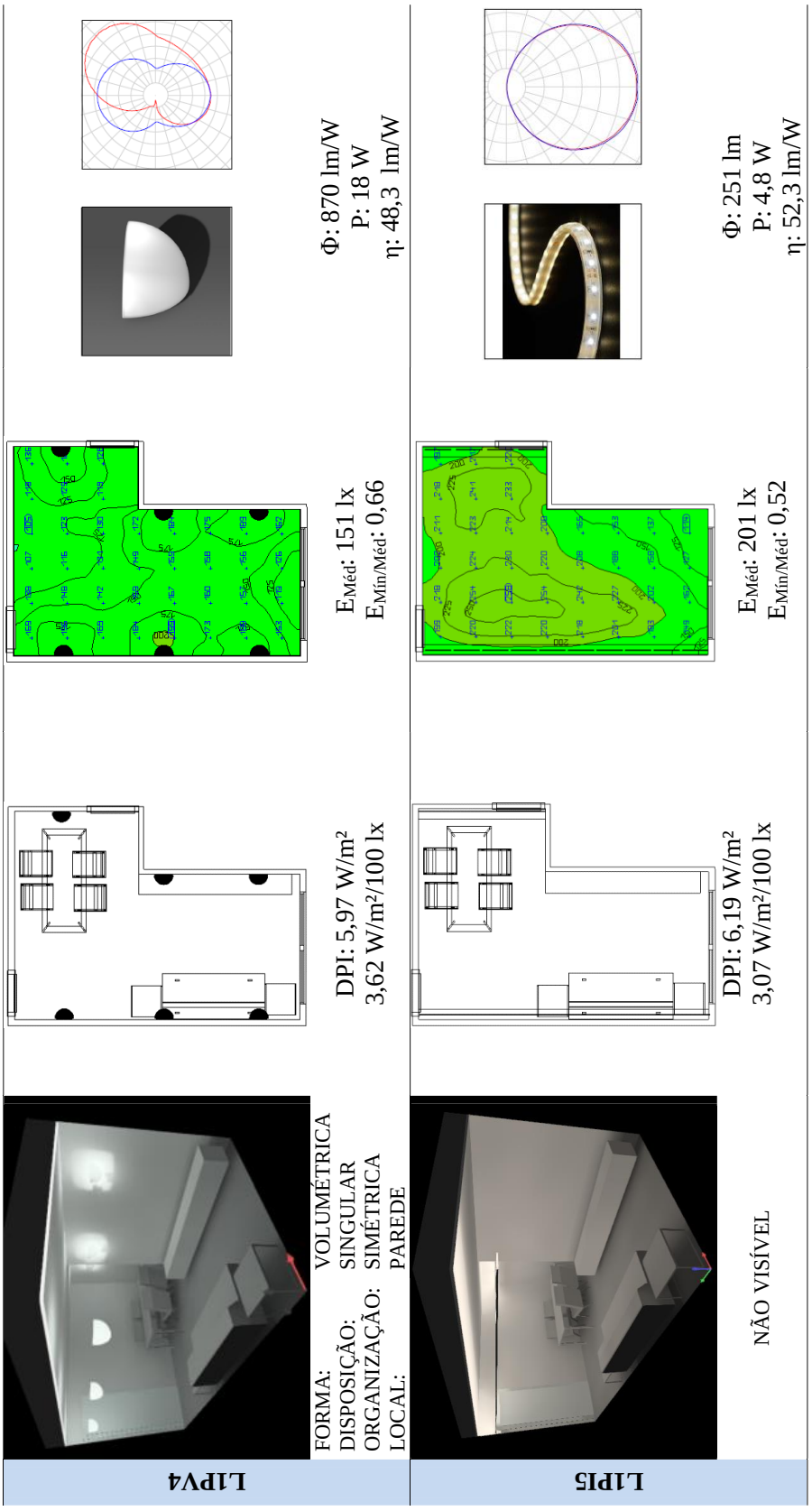
NÃO VISÍVEL



Anexo B - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Protagonista na parede

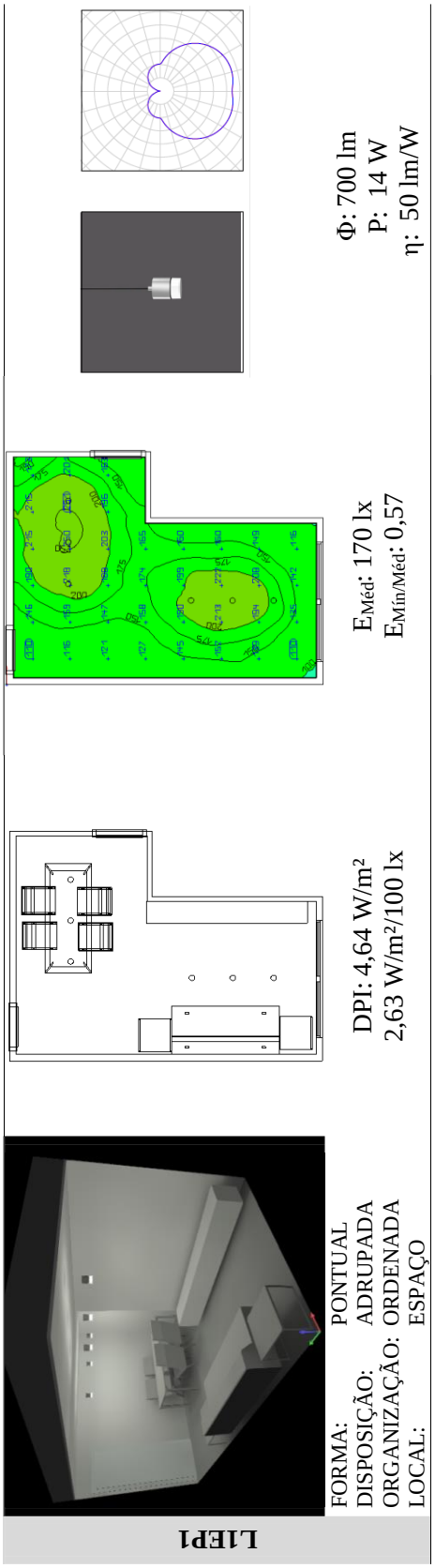


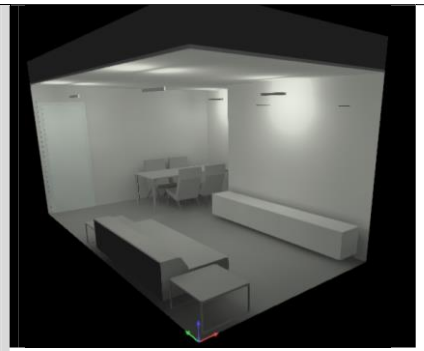
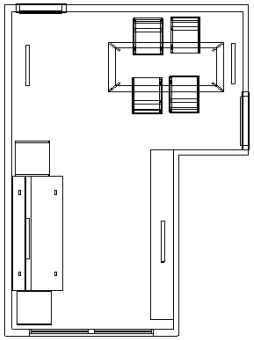
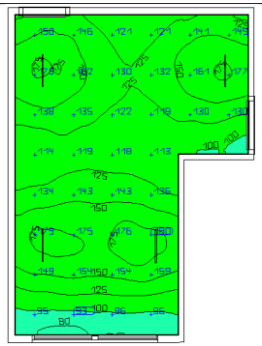
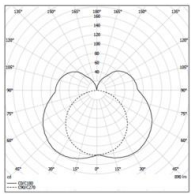
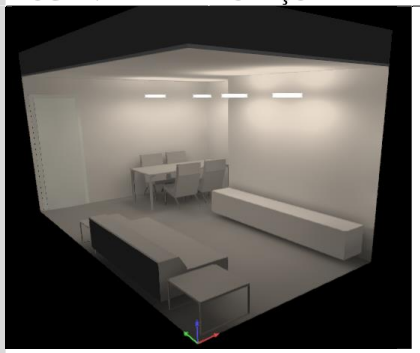
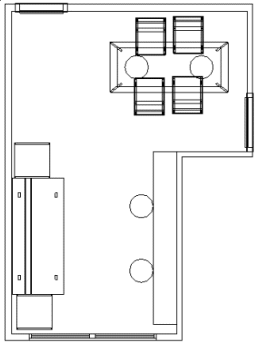
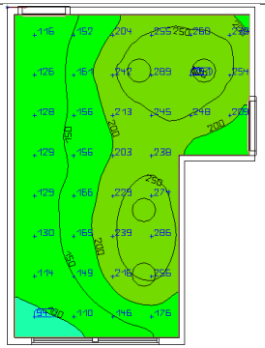
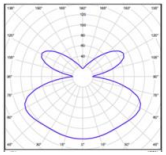
L1PL2					
FORMA: LINEAR DISPOSIÇÃO: ALINHADA ORGANIZAÇÃO: SIMÉTRICA LOCAL: PAREDE		DPI: 3,54 W/m² 2,19 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 172 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,50	Φ: 1200 lm P: 16 W η: 75 lm/W	
L1PS3					
FORMA: SUPERFICIA DISPOSIÇÃO: AGRUPADA ORGANIZAÇÃO: ORDENADA LOCAL: PAREDE		DPI: 8,29 W/m² 4,28 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 196 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,39	Φ: 58,9 lm/W P: 15 W η: 58,9 lm/W	



Fonte: Autora, 2018.

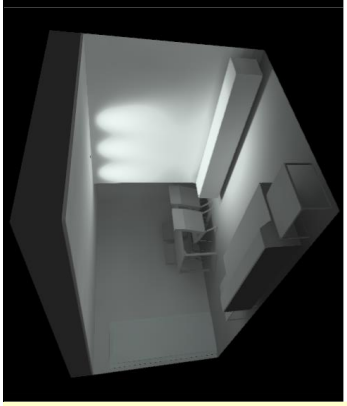
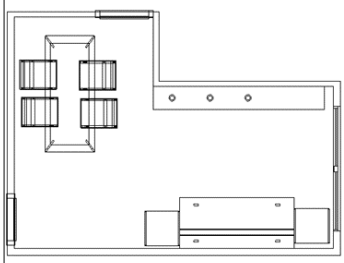
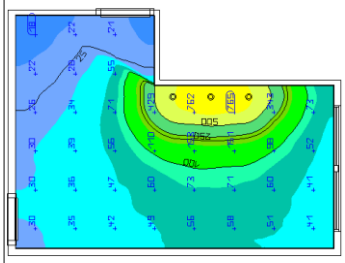
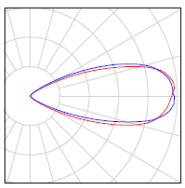
Anexo C - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Protagonista no espaço

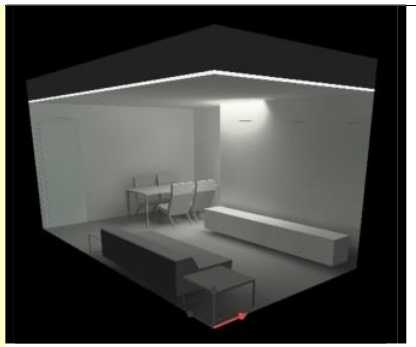
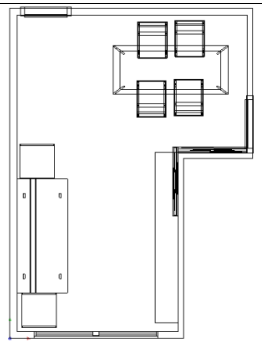
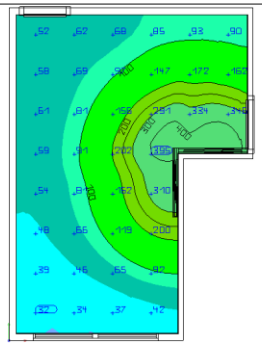
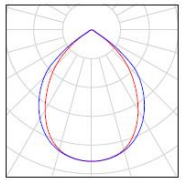
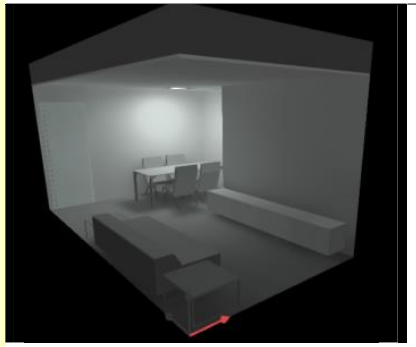
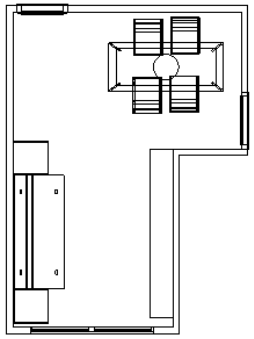
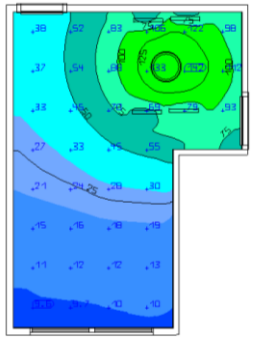
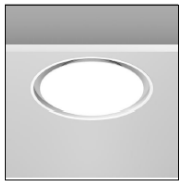
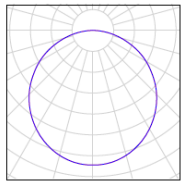


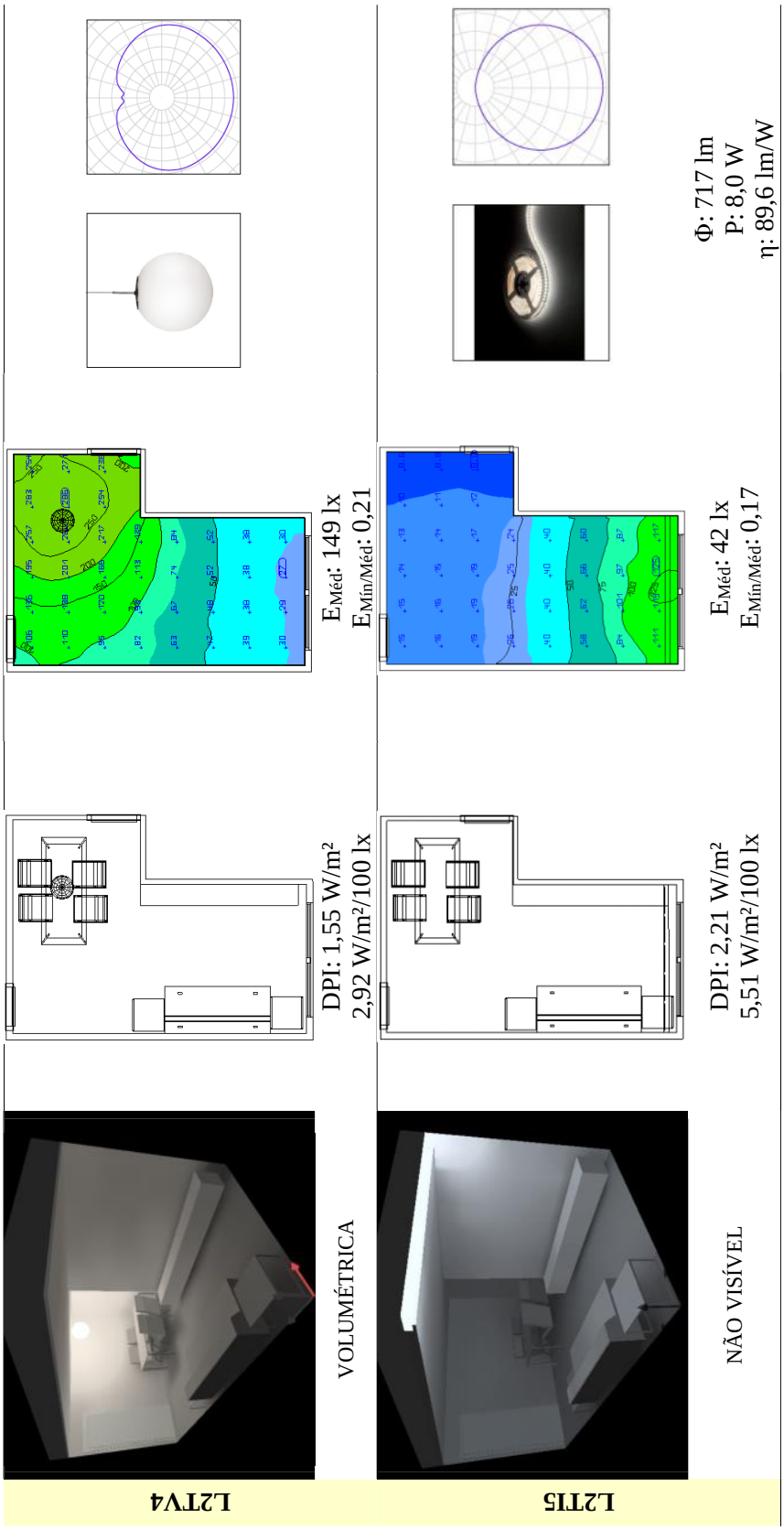
L1EL2					
	FORMA: LINEAR DISPOSIÇÃO: SIMÉTRICA ORGANIZAÇÃO: ORDENADA LOCAL: ESPAÇO	DPI: 2,43 W/m² 1,78 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 137 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,55	Φ: 890 lm P: 11 W η: 80,9 lm/W	
L1ES3					
	FORMA: SUPERFICIAL DISPOSIÇÃO: AGRUPADA ORGANIZAÇÃO: ORDENADA LOCAL: ESPAÇO	DPI: 3,54 W/m² 1,82 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 194 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,45	Φ: 1294 lm P: 16 W η: 80,9 lm/W	

Fonte: Autora, 2018.

Anexo D - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Complementar no teto

L2TP1		PONTUAL	 DPI: 1,99 W/m² 1,73 W/m²/100 lx
		$E_{Méd}$: 117 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,15	 Φ: 809 lm P: 12 W η: 67,4 lm/W

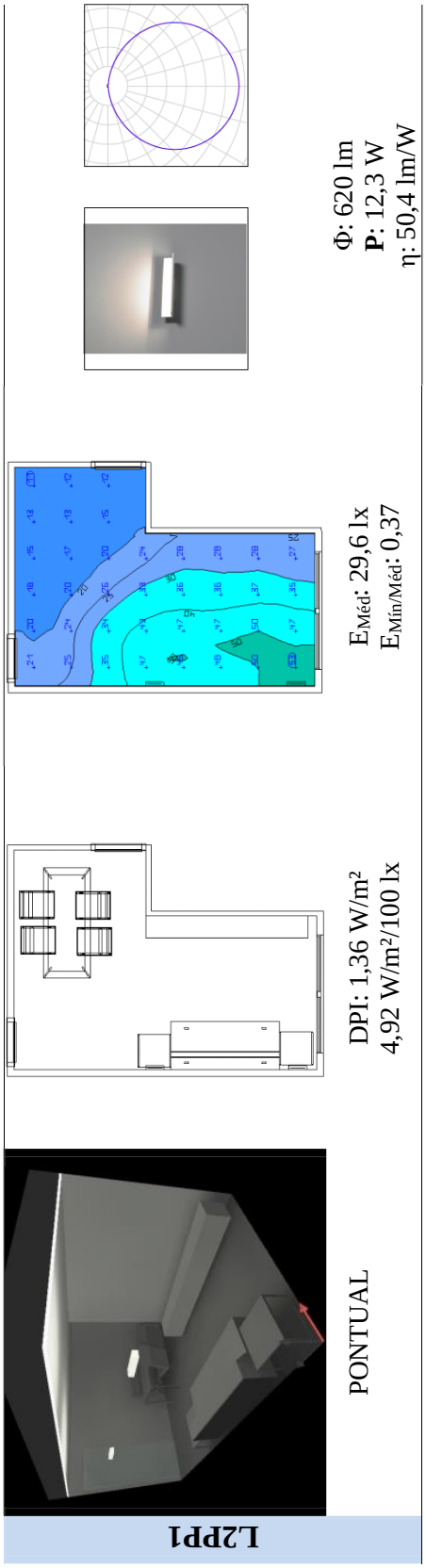
L2TL2					
	LINEAR	DPI: 3,54 W/m² 2,88 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 130 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,22	Φ: 3136 lm P: 64 W η: 49 lm/W	
L2TS3				 	
	SUPERFICIAL	DPI: 1,16 W/m² 1,45 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 49,5 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,19	Φ: 1900 lm P: 21,0 W η: 90,5 lm/W	

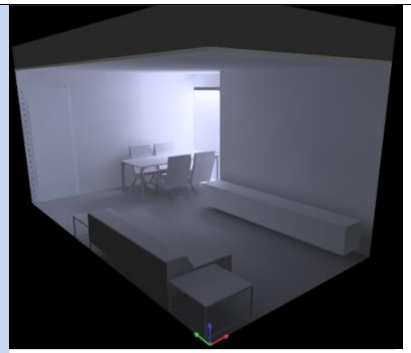
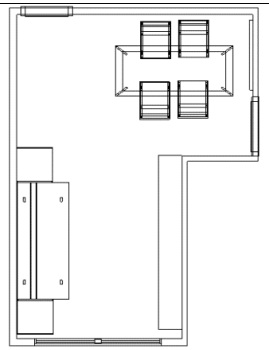
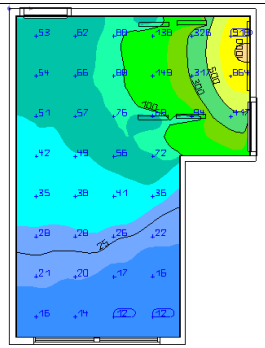
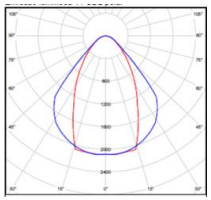
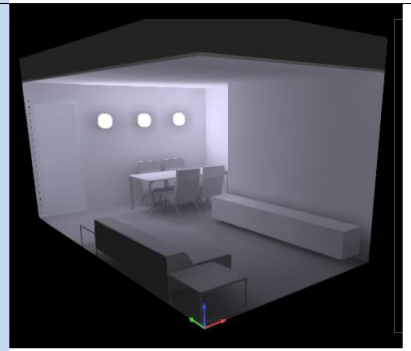
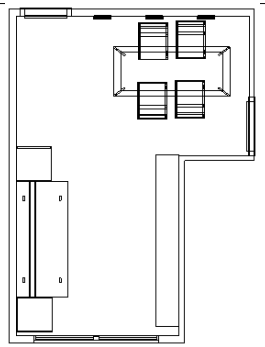
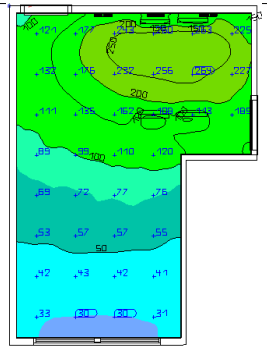
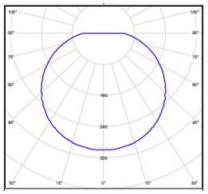


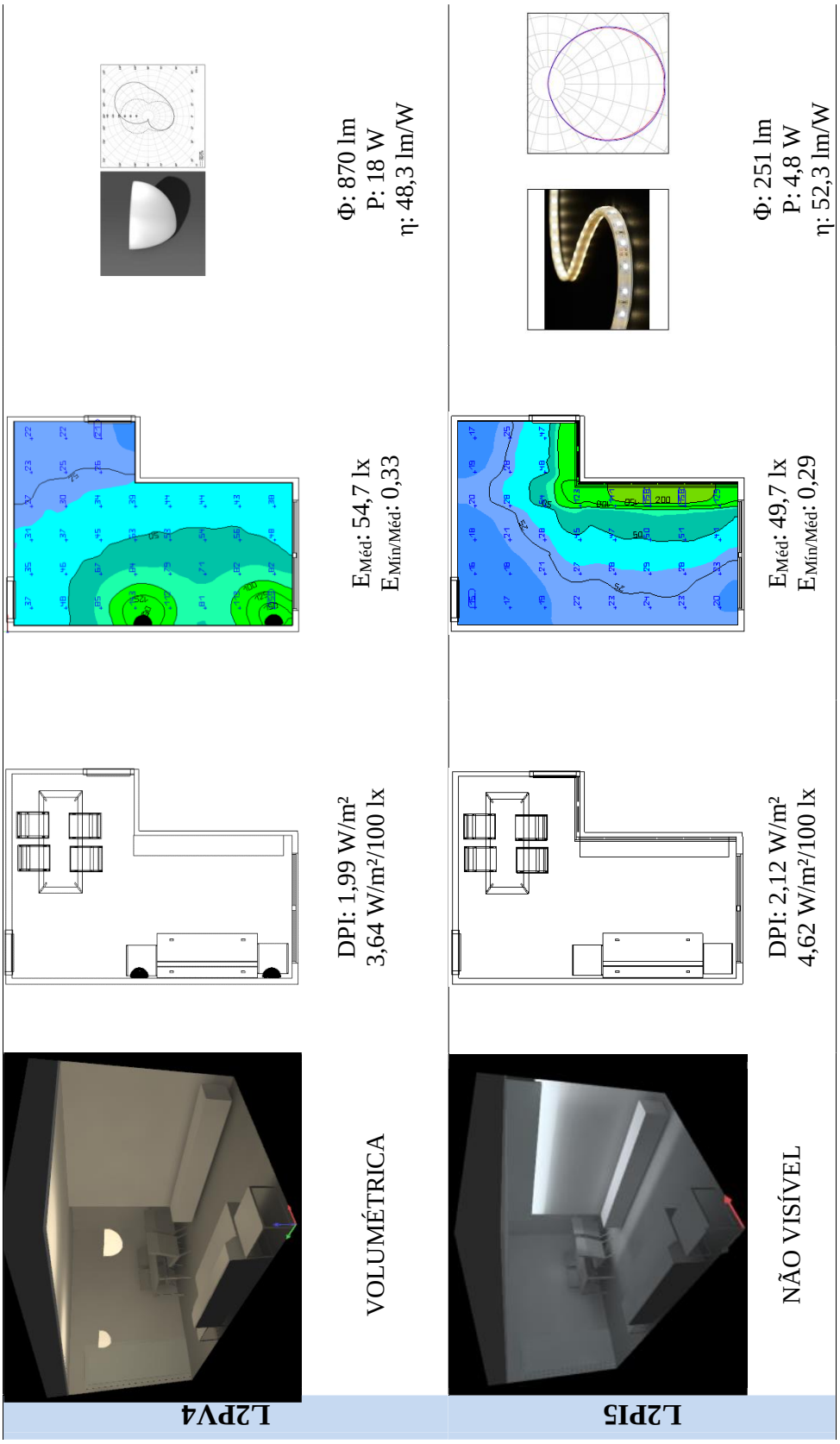
Fonte: Autora, 2018.

Anexo E - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Complementar na parede

L2PP1	PONTUAL	DPI: 1,36 W/m² 4,92 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 29,6 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,37	**Φ**: 620 lm **P**: 12,3 W η: 50,4 lm/W

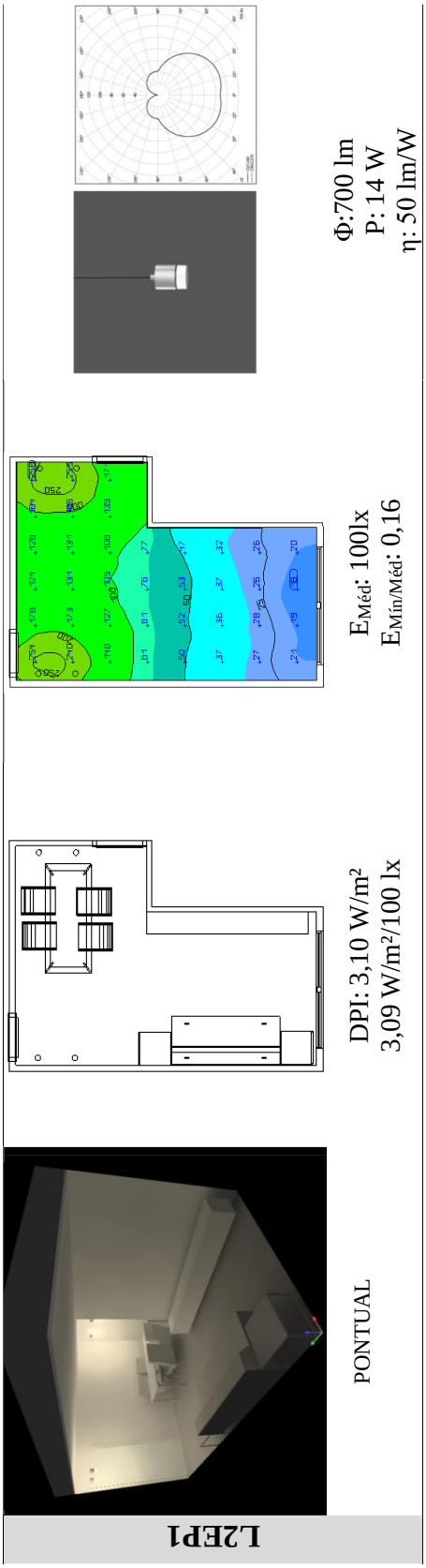


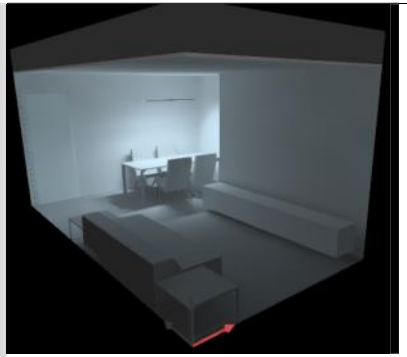
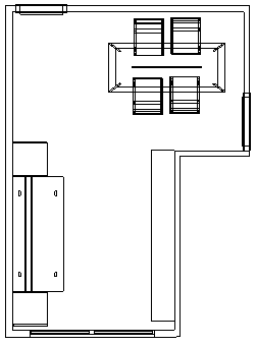
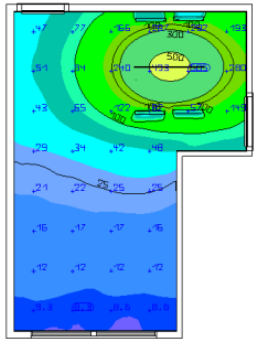
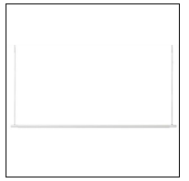
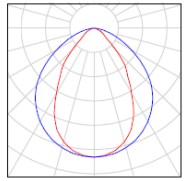
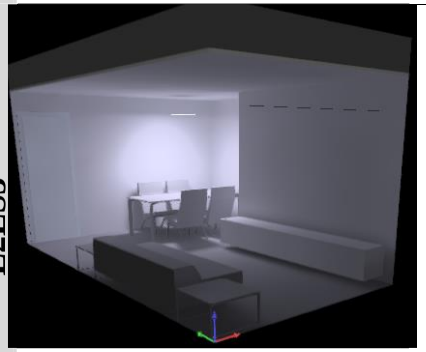
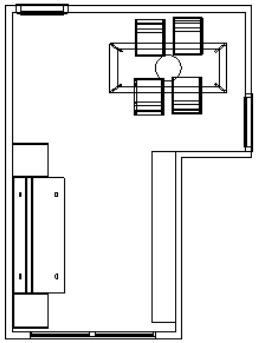
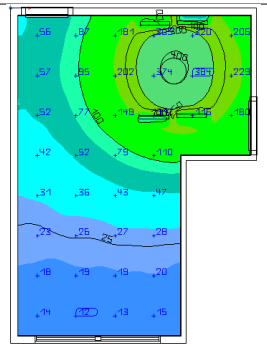
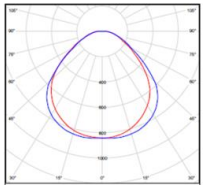
L2PL2					
	LINEAR	DPI: 1,66 W/m² 1,45 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 115 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,09	Φ: 1900lm P: 22W η: 96,4 lm/W	
L2PS3					
	SUPERFICIAL	DPI: 1,99 W/m² 1,65 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 120 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,22	Φ: 1089 lm P: 12 W η: 90,7 lm/W	

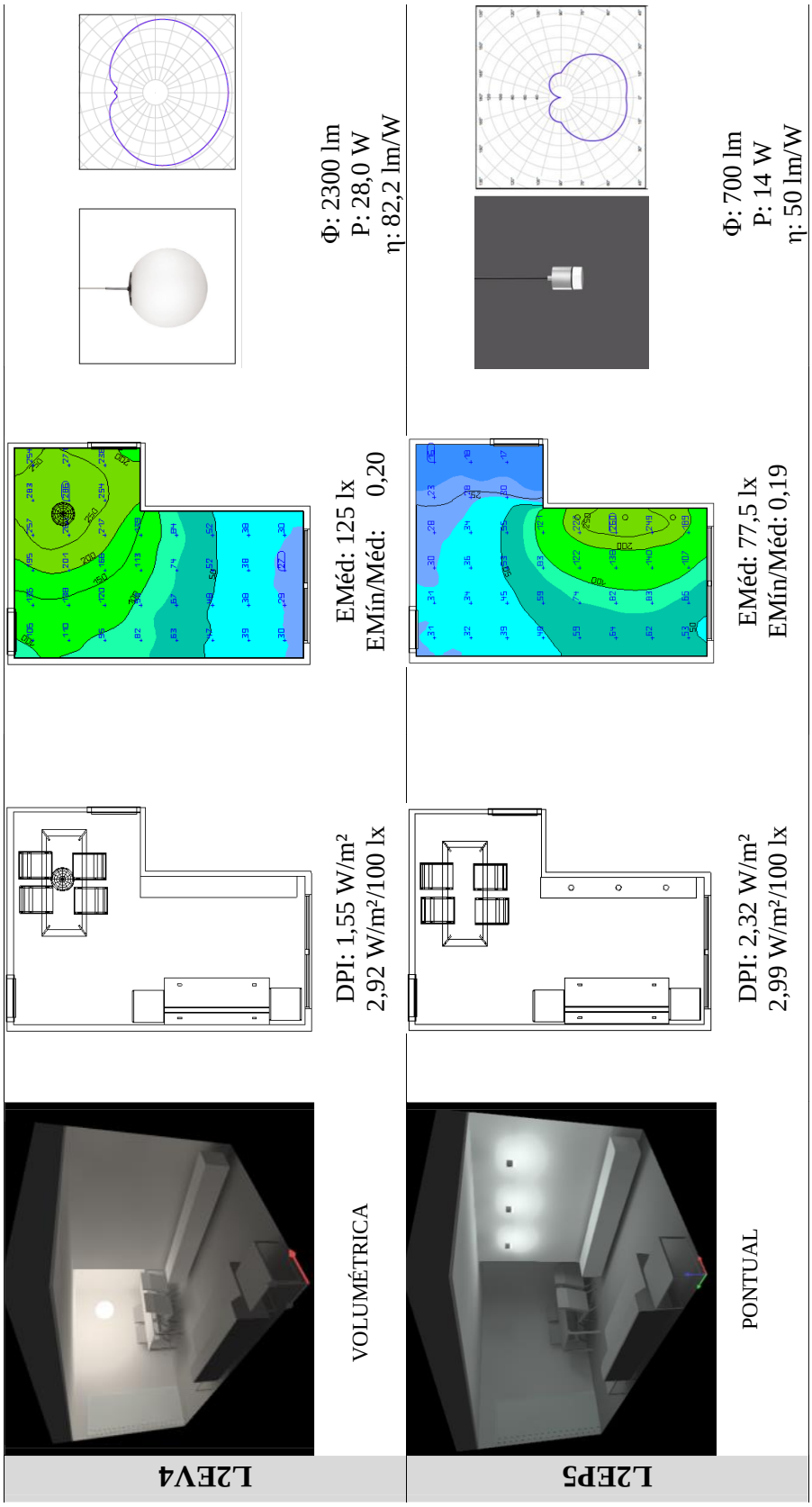


Fonte: Autora, 2018.

Anexo F - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Complementar no espaço

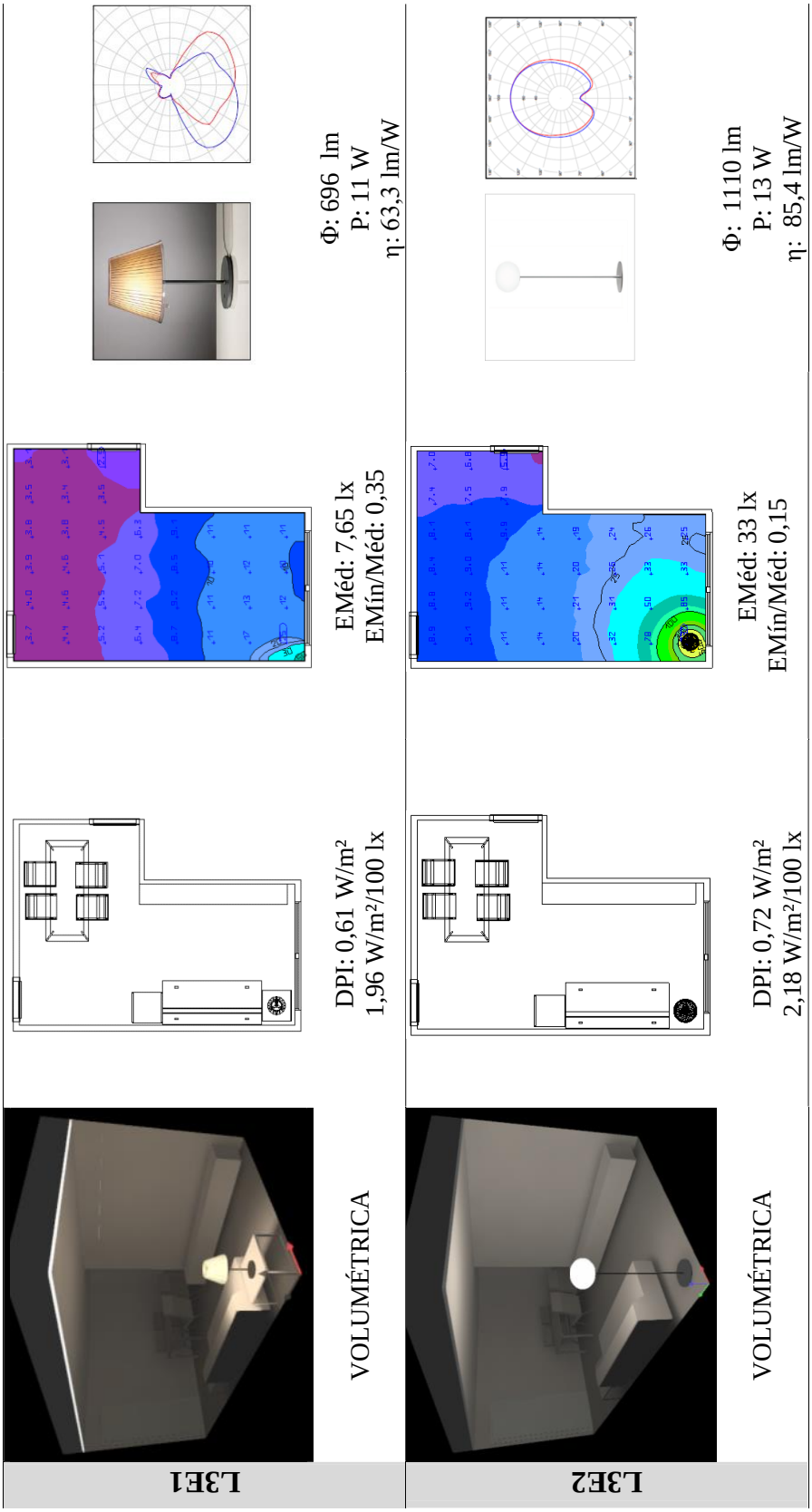


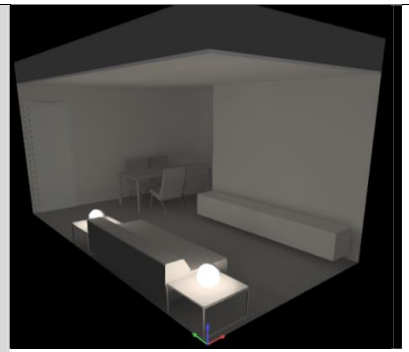
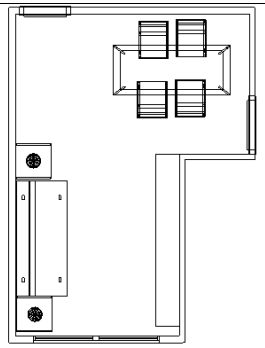
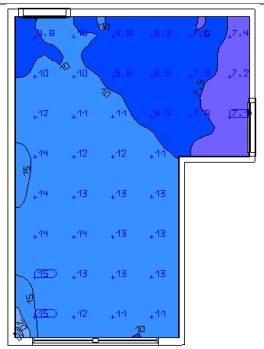
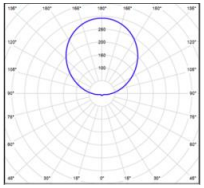
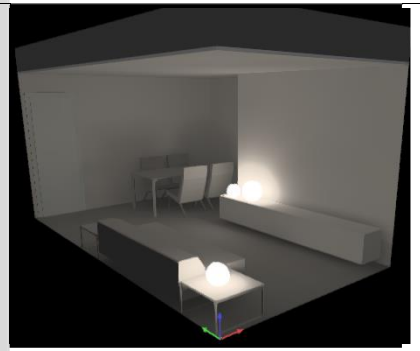
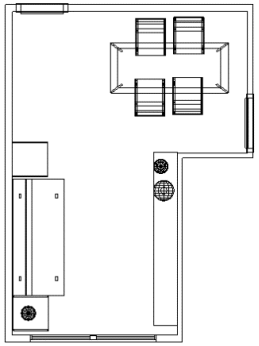
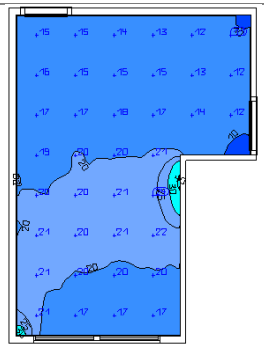
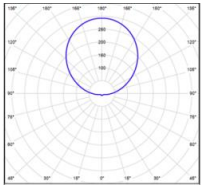
L2EL2				 	
	LINEAR	DPI: 1,22 W/m² 1,26 W/m²/100 lx	$E_{Méd}$: 96,7 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,07	Φ: 1900 lm P: 22 W η: 86,4 lm/W	
L2ES3					
	SUPERFICIAL	DPI: 1,27 W/m² 1,22 W/m²/100 lx	EMéd: 104 lx $E_{Mín/Méd}$: 0,10	Φ: 2257 lm P: 23 W η: 98,1 lm/W	

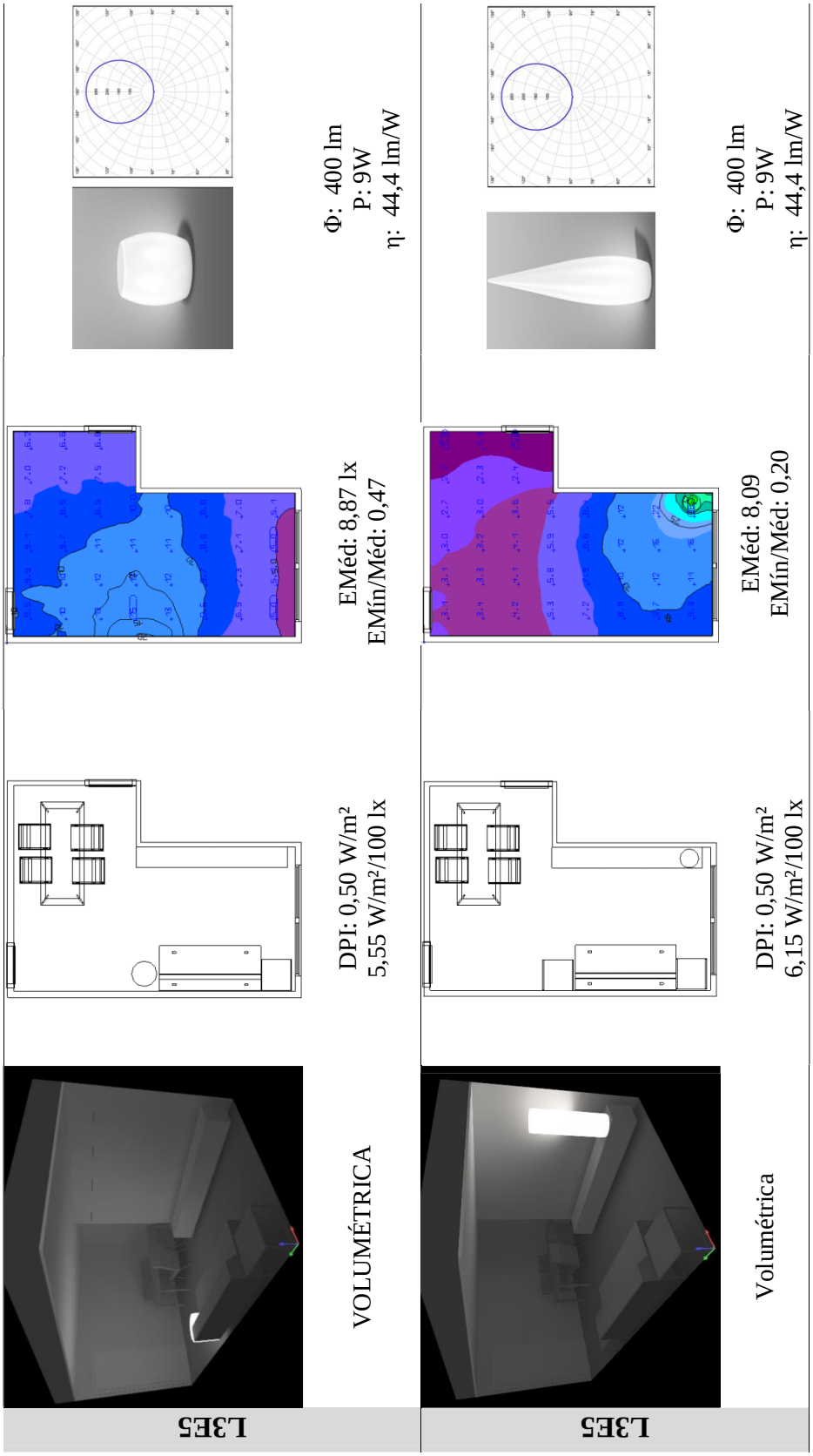


Fonte: Autora, 2018.

Anexo G - Resumo dos cenários de iluminação com função de Luz Suplementar

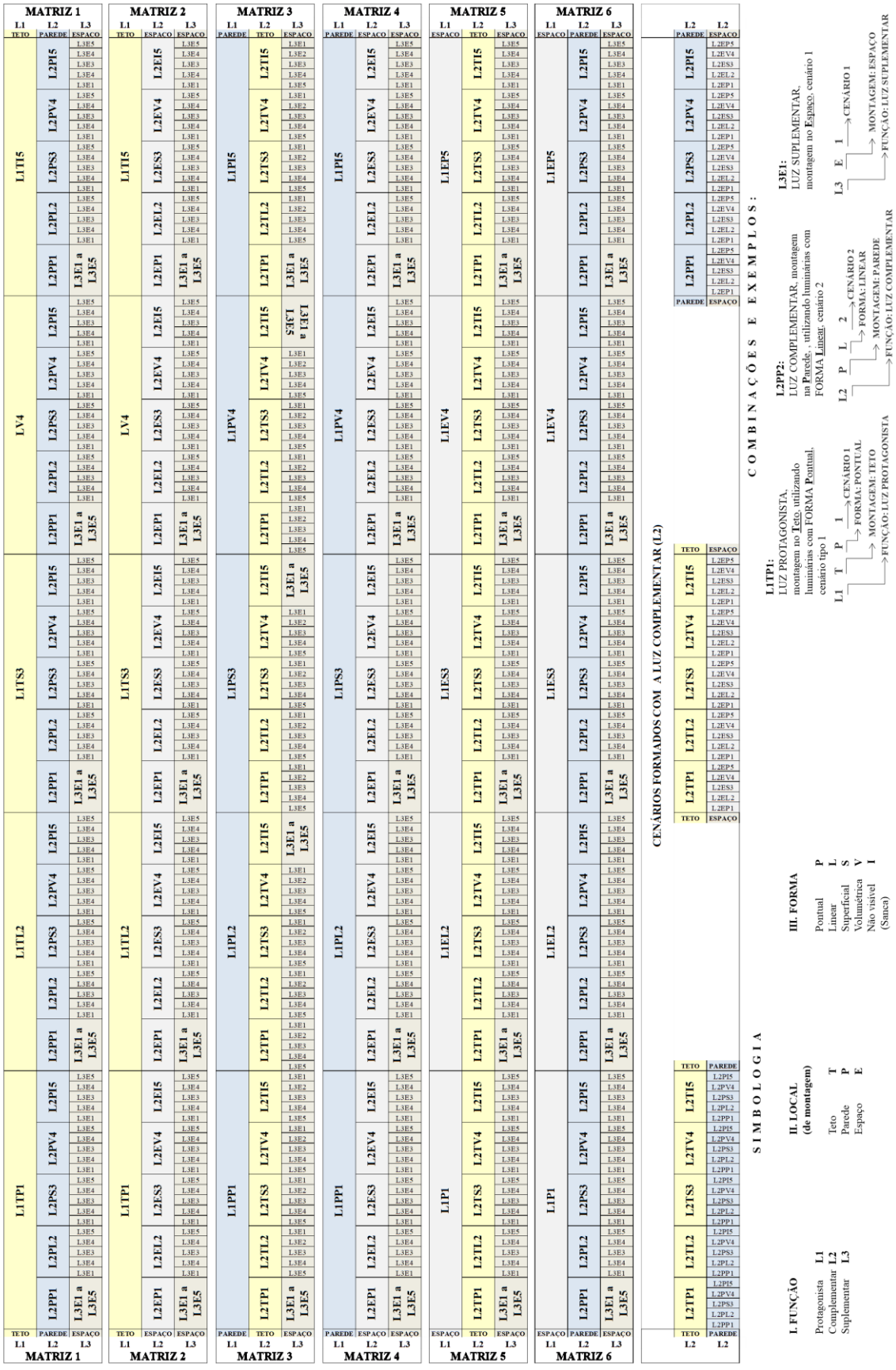


L3E3					
	VOLUMÉTRICA	DPI: 1,00 W/m² 5,66 W/m²/100 lx	EMéd:17,6 lx EMín/Méd: 0,51	Φ: 400 lm P: 9W η: 44,4 lm/W	
L3E4					
	VOLUMÉTRICA	DPI: 1,49 W/m² 5,38 W/m²/100 lx	EMéd: lx EMín/Méd:	Φ: 400 lm P: 9 W η: 44,4 lm/W	



Fonte: Autora, 2018.

Anexo H - Matriz de simulação



Fonte: Autora, 2018.

M1: MATRIZ 1

L1 TETO | **L2** PAREDE | **L3** ESPAÇO

	M1 PONTUAL M1.P			DPI	M1 LINEAR M1.L			DPI	M1 SUPERFICIAL M1.S			DPI	M1 VOLUMÉTRICA M1.V			DPI	M1 NÃO VISÍVEL (sanca) M1.I			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1TP1	L2PP1	L3E1	**5,45**	L1TL2	L2PP1	L3E1	**7,28**	L1TS3	L2PP1	L3E1	**4,96**	L1TV4	L2PP1	L3E1	**6,39**	L1TI5	L2PP1	L3E1	**10,99**	**C1**
C2	L1TP1	L2PP1	L3E2	**5,56**	L1TL2	L2PP1	L3E2	**7,39**	L1TS3	L2PP1	L3E2	**5,07**	L1TV4	L2PP1	L3E2	**6,50**	L1TI5	L2PP1	L3E2	**11,10**	**C2**
C3	L1TP1	L2PP1	L3E3	**5,84**	L1TL2	L2PP1	L3E3	**7,67**	L1TS3	L2PP1	L3E3	**5,35**	L1TV4	L2PP1	L3E3	**6,78**	L1TI5	L2PP1	L3E3	**11,38**	**C3**
C4	L1TP1	L2PP1	L3E4	**6,33**	L1TL2	L2PP1	L3E4	**8,16**	L1TS3	L2PP1	L3E4	**5,84**	L1TV4	L2PP1	L3E4	**7,27**	L1TI5	L2PP1	L3E4	**11,87**	**C4**
C5	L1TP1	L2PP1	L3E5	**5,34**	L1TL2	L2PP1	L3E5	**7,17**	L1TS3	L2PP1	L3E5	**4,85**	L1TV4	L2PP1	L3E5	**6,28**	L1TI5	L2PP1	L3E5	**10,88**	**C5**
C6	L1TP1	L2PL2	L3E1	**5,75**	L1TL2	L2PL2	L3E1	**7,58**	L1TS3	L2PL2	L3E1	**5,26**	L1TV4	L2PL2	L3E1	**6,69**	L1TI5	L2PL2	L3E1	**11,29**	**C6**
C7	L1TP1	L2PL2	L3E2	**5,86**	L1TL2	L2PL2	L3E2	**7,69**	L1TS3	L2PL2	L3E2	**5,37**	L1TV4	L2PL2	L3E2	**6,80**	L1TI5	L2PL2	L3E2	**11,40**	**C7**
C8	L1TP1	L2PL2	L3E3	**6,14**	L1TL2	L2PL2	L3E3	**7,97**	L1TS3	L2PL2	L3E3	**5,65**	L1TV4	L2PL2	L3E3	**7,08**	L1TI5	L2PL2	L3E3	**11,68**	**C8**
C9	L1TP1	L2PL2	L3E4	**6,63**	L1TL2	L2PL2	L3E4	**8,46**	L1TS3	L2PL2	L3E4	**6,14**	L1TV4	L2PL2	L3E4	**7,57**	L1TI5	L2PL2	L3E4	**12,17**	**C9**
C10	L1TP1	L2PL2	L3E5	**5,64**	L1TL2	L2PL2	L3E5	**7,47**	L1TS3	L2PL2	L3E5	**5,15**	L1TV4	L2PL2	L3E5	**6,58**	L1TI5	L2PL2	L3E5	**11,18**	**C10**
C11	L1TP1	L2PS3	L3E1	**6,08**	L1TL2	L2PS3	L3E1	**7,91**	L1TS3	L2PS3	L3E1	**5,59**	L1TV4	L2PS3	L3E1	**7,02**	L1TI5	L2PS3	L3E1	**11,62**	**C11**
C12	L1TP1	L2PS3	L3E2	**6,19**	L1TL2	L2PS3	L3E2	**8,02**	L1TS3	L2PS3	L3E2	**5,70**	L1TV4	L2PS3	L3E2	**7,13**	L1TI5	L2PS3	L3E2	**11,73**	**C12**
C13	L1TP1	L2PS3	L3E3	**6,47**	L1TL2	L2PS3	L3E3	**8,30**	L1TS3	L2PS3	L3E3	**5,98**	L1TV4	L2PS3	L3E3	**7,41**	L1TI5	L2PS3	L3E3	**12,01**	**C13**
C14	L1TP1	L2PS3	L3E4	**6,96**	L1TL2	L2PS3	L3E4	**8,79**	L1TS3	L2PS3	L3E4	**6,47**	L1TV4	L2PS3	L3E4	**7,90**	L1TI5	L2PS3	L3E4	**12,50**	**C14**
C15	L1TP1	L2PS3	L3E5	**5,97**	L1TL2	L2PS3	L3E5	**7,80**	L1TS3	L2PS3	L3E5	**5,48**	L1TV4	L2PS3	L3E5	**6,91**	L1TI5	L2PS3	L3E5	**11,51**	**C15**
C16	L1TP1	L2PV4	L3E1	**6,08**	L1TL2	L2PV4	L3E1	**7,91**	L1TS3	L2PV4	L3E1	**5,59**	L1TV4	L2PV4	L3E1	**7,02**	L1TI5	L2PV4	L3E1	**11,62**	**C16**
C17	L1TP1	L2PV4	L3E2	**6,19**	L1TL2	L2PV4	L3E2	**8,02**	L1TS3	L2PV4	L3E2	**5,70**	L1TV4	L2PV4	L3E2	**7,13**	L1TI5	L2PV4	L3E2	**11,73**	**C17**
C18	L1TP1	L2PV4	L3E3	**6,47**	L1TL2	L2PV4	L3E3	**8,30**	L1TS3	L2PV4	L3E3	**5,98**	L1TV4	L2PV4	L3E3	**7,41**	L1TI5	L2PV4	L3E3	**12,01**	**C18**
C19	L1TP1	L2PV4	L3E4	**6,96**	L1TL2	L2PV4	L3E4	**8,79**	L1TS3	L2PV4	L3E4	**6,47**	L1TV4	L2PV4	L3E4	**7,90**	L1TI5	L2PV4	L3E4	**12,50**	**C19**
C20	L1TP1	L2PV4	L3E5	**5,97**	L1TL2	L2PV4	L3E5	**7,80**	L1TS3	L2PV4	L3E5	**5,48**	L1TV4	L2PV4	L3E5	**6,91**	L1TI5	L2PV4	L3E5	**11,51**	**C20**
C21	L1TP1	L2PI5	L3E1	**6,21**	L1TL2	L2PI5	L3E1	**8,04**	L1TS3	L2PI5	L3E1	**5,72**	L1TV4	L2PI5	L3E1	**7,15**	L1TI5	L2PI5	L3E1	**11,75**	**C21**
C22	L1TP1	L2PI5	L3E2	**6,32**	L1TL2	L2PI5	L3E2	**8,15**	L1TS3	L2PI5	L3E2	**5,83**	L1TV4	L2PI5	L3E2	**7,26**	L1TI5	L2PI5	L3E2	**11,86**	**C22**
C23	L1TP1	L2PI5	L3E3	**6,60**	L1TL2	L2PI5	L3E3	**8,43**	L1TS3	L2PI5	L3E3	**6,11**	L1TV4	L2PI5	L3E3	**7,54**	L1TI5	L2PI5	L3E3	**12,14**	**C23**
C24	L1TP1	L2PI5	L3E4	**7,09**	L1TL2	L2PI5	L3E4	**8,92**	L1TS3	L2PI5	L3E4	**6,60**	L1TV4	L2PI5	L3E4	**8,03**	L1TI5	L2PI5	L3E4	**12,63**	**C24**
C25	L1TP1	L2PI5	L3E5	**6,10**	L1TL2	L2PI5	L3E5	**7,93**	L1TS3	L2PI5	L3E5	**5,61**	L1TV4	L2PI5	L3E5	**7,04**	L1TI5	L2PI5	L3E5	**11,64**	**C25**

Continua

M1: MATRIZ 1

L1	L2	L3
TETO	PAREDE	ESPAÇO

	M1.a L1 v L2			DPI	M1.b L1 v L3			DPI	M1.c L2 v L3			DPI	L1T			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1TP1	L2PP1	-	4,84	L1TP1	-	L3E1	4,09	-	L2PP1	L3E1	1,97	L1TP1	-	-	3,48	**C1**
C2	L1TP1	L2PL2	-	5,14	L1TP1	-	L3E2	4,2	-	L2PP1	L3E2	2,08	L1TL2	-	-	5,31	**C2**
C3	L1TP1	L2PS3	-	5,47	L1TP1	-	L3E3	4,48	-	L2PP1	L3E3	2,36	L1TS3	-	-	2,99	**C3**
C4	L1TP1	L2PV4	-	5,47	L1TP1	-	L3E4	4,97	-	L2PP1	L3E4	2,85	L1TV4	-	-	4,42	**C4**
C5	L1TP1	L2PI5	-	5,6	L1TP1	-	L3E5	3,98	-	L2PP1	L3E5	1,86	L1TI5	-	-	9,02	**C5**
C6	L1TL2	L2PP1	-	6,67	L1TL2	-	L3E1	5,92	-	L2PL2	L3E1	2,27					**C6**
C7	L1TL2	L2PL2	-	6,97	L1TL2	-	L3E2	6,03	-	L2PL2	L3E2	2,38					**C7**
C8	L1TL2	L2PS3	-	7,3	L1TL2	-	L3E3	6,31	-	L2PL2	L3E3	2,66					**C8**
C9	L1TL2	L2PV4	-	7,3	L1TL2	-	L3E4	6,8	-	L2PL2	L3E4	3,15					**C9**
C10	L1TL2	L2PI5	-	7,43	L1TL2	-	L3E5	5,81	-	L2PL2	L3E5	2,16					**C10**
C11	L1TS3	L2PP1	-	4,35	L1TS3	-	L3E1	3,6	-	L2PS3	L3E1	2,6					**C11**
C12	L1TS3	L2PL2	-	4,65	L1TS3	-	L3E2	3,71	-	L2PS3	L3E2	2,71					**C12**
C13	L1TS3	L2PS3	-	4,98	L1TS3	-	L3E3	3,99	-	L2PS3	L3E3	2,99					**C13**
C14	L1TS3	L2PV4	-	4,98	L1TS3	-	L3E4	4,48	-	L2PS3	L3E4	3,48					**C14**
C15	L1TS3	L2PI5	-	5,11	L1TS3	-	L3E5	3,49	-	L2PS3	L3E5	2,49					**C15**
C16	L1TV4	L2PP1	-	5,78	L1TV4	-	L3E1	5,03	-	L2PV4	L3E1	2,6					**C16**
C17	L1TV4	L2PL2	-	6,08	L1TV4	-	L3E2	5,14	-	L2PV4	L3E2	2,71					**C17**
C18	L1TV4	L2PS3	-	6,41	L1TV4	-	L3E3	5,42	-	L2PV4	L3E3	2,99					**C18**
C19	L1TV4	L2PV4	-	6,41	L1TV4	-	L3E4	5,91	-	L2PV4	L3E4	3,48					**C19**
C20	L1TV4	L2PI5	-	6,54	L1TV4	-	L3E5	4,92	-	L2PV4	L3E5	2,49					**C20**
C21	L1TI5	L2PP1	-	10,38	L1TI5	-	L3E1	9,63	-	L2PI5	L3E1	2,73					**C21**
C22	L1TI5	L2PL2	-	10,68	L1TI5	-	L3E2	9,74	-	L2PI5	L3E2	2,84					**C22**
C23	L1TI5	L2PS3	-	11,01	L1TI5	-	L3E3	10,02	-	L2PI5	L3E3	3,12					**C23**
C24	L1TI5	L2PV4	-	11,01	L1TI5	-	L3E4	10,51	-	L2PI5	L3E4	3,61					**C24**
C25	L1TI5	L2PI5	-	11,14	L1TI5	-	L3E5	9,52	-	L2PI5	L3E5	2,62					**C25**

Fonte: Autora, 2018.

M2: MATRIZ 2

	L1	L2	L3
	TETO	ESPAÇO	ESPAÇO

	M2 PONTUAL M2.P			DPI	M2 LINEAR M2.L			DPI	M2 SUPERFICIAL M2.S			DPI	M2 VOLUMÉTRICA M2.V			DPI	M2 NÃO VISÍVEL M2.I			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1TP1	L2EP1	L3E1	7,19	L1TL2	L2EP1	L3E1	9,02	L1TS3	L2EP1	L3E1	6,70	L1TV4	L2EP1	L3E1	8,13	L1TI5	L2EP1	L3E1	12,73	**C1**
C2	L1TP1	L2EP1	L3E2	7,30	L1TL2	L2EP1	L3E2	9,13	L1TS3	L2EP1	L3E2	6,81	L1TV4	L2EP1	L3E2	8,24	L1TI5	L2EP1	L3E2	12,84	**C2**
C3	L1TP1	L2EP1	L3E3	7,58	L1TL2	L2EP1	L3E3	9,41	L1TS3	L2EP1	L3E3	7,09	L1TV4	L2EP1	L3E3	8,52	L1TI5	L2EP1	L3E3	13,12	**C3**
C4	L1TP1	L2EP1	L3E4	8,07	L1TL2	L2EP1	L3E4	9,90	L1TS3	L2EP1	L3E4	7,58	L1TV4	L2EP1	L3E4	9,01	L1TI5	L2EP1	L3E4	13,61	**C4**
C5	L1TP1	L2EP1	L3E5	7,08	L1TL2	L2EP1	L3E5	8,91	L1TS3	L2EP1	L3E5	6,59	L1TV4	L2EP1	L3E5	8,02	L1TI5	L2EP1	L3E5	12,62	**C5**
C6	L1TP1	L2EL2	L3E1	5,31	L1TL2	L2EL2	L3E1	7,14	L1TS3	L2EL2	L3E1	4,82	L1TV4	L2EL2	L3E1	6,25	L1TI5	L2EL2	L3E1	10,85	**C6**
C7	L1TP1	L2EL2	L3E2	5,42	L1TL2	L2EL2	L3E2	7,25	L1TS3	L2EL2	L3E2	4,93	L1TV4	L2EL2	L3E2	6,36	L1TI5	L2EL2	L3E2	10,96	**C7**
C8	L1TP1	L2EL2	L3E3	5,70	L1TL2	L2EL2	L3E3	7,53	L1TS3	L2EL2	L3E3	5,21	L1TV4	L2EL2	L3E3	6,64	L1TI5	L2EL2	L3E3	11,24	**C8**
C9	L1TP1	L2EL2	L3E4	6,19	L1TL2	L2EL2	L3E4	8,02	L1TS3	L2EL2	L3E4	5,70	L1TV4	L2EL2	L3E4	7,13	L1TI5	L2EL2	L3E4	11,73	**C9**
C10	L1TP1	L2EL2	L3E5	5,20	L1TL2	L2EL2	L3E5	7,03	L1TS3	L2EL2	L3E5	4,71	L1TV4	L2EL2	L3E5	6,14	L1TI5	L2EL2	L3E5	10,74	**C10**
C11	L1TP1	L2ES3	L3E1	5,36	L1TL2	L2ES3	L3E1	7,19	L1TS3	L2ES3	L3E1	4,87	L1TV4	L2ES3	L3E1	6,30	L1TI5	L2ES3	L3E1	10,90	**C11**
C12	L1TP1	L2ES3	L3E2	5,47	L1TL2	L2ES3	L3E2	7,30	L1TS3	L2ES3	L3E2	4,98	L1TV4	L2ES3	L3E2	6,41	L1TI5	L2ES3	L3E2	11,01	**C12**
C13	L1TP1	L2ES3	L3E3	5,75	L1TL2	L2ES3	L3E3	7,58	L1TS3	L2ES3	L3E3	5,26	L1TV4	L2ES3	L3E3	6,69	L1TI5	L2ES3	L3E3	11,29	**C13**
C14	L1TP1	L2ES3	L3E4	6,24	L1TL2	L2ES3	L3E4	8,07	L1TS3	L2ES3	L3E4	5,75	L1TV4	L2ES3	L3E4	7,18	L1TI5	L2ES3	L3E4	11,78	**C14**
C15	L1TP1	L2ES3	L3E5	5,25	L1TL2	L2ES3	L3E5	7,08	L1TS3	L2ES3	L3E5	4,76	L1TV4	L2ES3	L3E5	6,19	L1TI5	L2ES3	L3E5	10,79	**C15**
C16	L1TP1	L2EV4	L3E1	5,64	L1TL2	L2EV4	L3E1	7,47	L1TS3	L2EV4	L3E1	5,15	L1TV4	L2EV4	L3E1	6,58	L1TI5	L2EV4	L3E1	11,18	**C16**
C17	L1TP1	L2EV4	L3E2	5,75	L1TL2	L2EV4	L3E2	7,58	L1TS3	L2EV4	L3E2	5,26	L1TV4	L2EV4	L3E2	6,69	L1TI5	L2EV4	L3E2	11,29	**C17**
C18	L1TP1	L2EV4	L3E3	6,03	L1TL2	L2EV4	L3E3	7,86	L1TS3	L2EV4	L3E3	5,54	L1TV4	L2EV4	L3E3	6,97	L1TI5	L2EV4	L3E3	11,57	**C18**
C19	L1TP1	L2EV4	L3E4	6,52	L1TL2	L2EV4	L3E4	8,35	L1TS3	L2EV4	L3E4	6,03	L1TV4	L2EV4	L3E4	7,46	L1TI5	L2EV4	L3E4	12,06	**C19**
C20	L1TP1	L2EV4	L3E5	5,53	L1TL2	L2EV4	L3E5	7,36	L1TS3	L2EV4	L3E5	5,04	L1TV4	L2EV4	L3E5	6,47	L1TI5	L2EV4	L3E5	11,07	**C20**
C21	L1TP1	L2EP5	L3E1	6,41	L1TL2	L2EP5	L3E1	8,24	L1TS3	L2EP5	L3E1	5,92	L1TV4	L2EP5	L3E1	7,35	L1TI5	L2EP5	L3E1	11,95	**C21**
C22	L1TP1	L2EP5	L3E2	6,52	L1TL2	L2EP5	L3E2	8,35	L1TS3	L2EP5	L3E2	6,03	L1TV4	L2EP5	L3E2	7,46	L1TI5	L2EP5	L3E2	12,06	**C22**
C23	L1TP1	L2EP5	L3E3	6,80	L1TL2	L2EP5	L3E3	8,63	L1TS3	L2EP5	L3E3	6,31	L1TV4	L2EP5	L3E3	7,74	L1TI5	L2EP5	L3E3	12,34	**C23**
C24	L1TP1	L2EP5	L3E4	7,29	L1TL2	L2EP5	L3E4	9,12	L1TS3	L2EP5	L3E4	6,80	L1TV4	L2EP5	L3E4	8,23	L1TI5	L2EP5	L3E4	12,83	**C24**
C25	L1TP1	L2EP5	L3E5	6,30	L1TL2	L2EP5	L3E5	8,13	L1TS3	L2EP5	L3E5	5,81	L1TV4	L2EP5	L3E5	7,24	L1TI5	L2EP5	L3E5	11,84	**C25**

Continua

M2: MATRIZ 2

L1	L2	L3
TETO	ESPAÇO	ESPAÇO

	M2.a L1 v L2			DPI	M2.b L1 v L3			DPI	M2.c L2 v L3			DPI	L1T			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1TP1	L2EP1	-	6.58	L1TP1	-	L3E1	4.09	-	L2EP1	L3E1	3.71	L1TP1	-	-	3,48	**C1**
C2	L1TP1	L2EL2	-	4.70	L1TP1	-	L3E2	4.20	-	L2EP1	L3E2	3.82	L1TL2	-	-	5,31	**C2**
C3	L1TP1	L2ES3	-	4.75	L1TP1	-	L3E3	4.48	-	L2EP1	L3E3	4.10	L1TS3	-	-	2,99	**C3**
C4	L1TP1	L2EV4	-	5.03	L1TP1	-	L3E4	4.97	-	L2EP1	L3E4	4.59	L1TV4	-	-	4,42	**C4**
C5	L1TP1	L2EP5	-	5.80	L1TP1	-	L3E5	3.98	-	L2EP1	L3E5	3.60	L1TI5	-	-	9,02	**C5**
C6	L1TL2	L2EP1	-	8.41	L1TL2	-	L3E1	5.92	-	L2EL2	L3E1	1.83					**C6**
C7	L1TL2	L2EL2	-	6.53	L1TL2	-	L3E2	6.03	-	L2EL2	L3E2	1.94					**C7**
C8	L1TL2	L2ES3	-	6.58	L1TL2	-	L3E3	6.31	-	L2EL2	L3E3	2.22					**C8**
C9	L1TL2	L2EV4	-	6.86	L1TL2	-	L3E4	6.80	-	L2EL2	L3E4	2.71					**C9**
C10	L1TL2	L2EP5	-	7.63	L1TL2	-	L3E5	5.81	-	L2EL2	L3E5	1.72					**C10**
C11	L1TS3	L2EP1	-	6.09	L1TS3	-	L3E1	3.60	-	L2ES3	L3E1	1.88					**C11**
C12	L1TS3	L2EL2	-	4.21	L1TS3	-	L3E2	3.71	-	L2ES3	L3E2	1.99					**C12**
C13	L1TS3	L2ES3	-	4.26	L1TS3	-	L3E3	3.99	-	L2ES3	L3E3	2.27					**C13**
C14	L1TS3	L2EV4	-	4.54	L1TS3	-	L3E4	4.48	-	L2ES3	L3E4	2.76					**C14**
C15	L1TS3	L2EP5	-	5.31	L1TS3	-	L3E5	3.49	-	L2ES3	L3E5	1.77					**C15**
C16	L1TV4	L2EP1	-	7.52	L1TV4	-	L3E1	5.03	-	L2EV4	L3E1	2.16					**C16**
C17	L1TV4	L2EL2	-	5.64	L1TV4	-	L3E2	5.14	-	L2EV4	L3E2	2.27					**C17**
C18	L1TV4	L2ES3	-	5.69	L1TV4	-	L3E3	5.42	-	L2EV4	L3E3	2.55					**C18**
C19	L1TV4	L2EV4	-	5.97	L1TV4	-	L3E4	5.91	-	L2EV4	L3E4	3.04					**C19**
C20	L1TV4	L2EP5	-	6.74	L1TV4	-	L3E5	4.92	-	L2EV4	L3E5	2.05					**C20**
C21	L1TI5	L2EP1	-	12.12	L1TI5	-	L3E1	9.63	-	L2EP5	L3E1	2.93					**C21**
C22	L1TI5	L2EL2	-	10.24	L1TI5	-	L3E2	9.74	-	L2EP5	L3E2	3.04					**C22**
C23	L1TI5	L2ES3	-	10.29	L1TI5	-	L3E3	10.02	-	L2EP5	L3E3	3.32					**C23**
C24	L1TI5	L2EV4	-	10.57	L1TI5	-	L3E4	10.51	-	L2EP5	L3E4	3.81					**C24**
C25	L1TI5	L2EP5	-	11.34	L1TI5	-	L3E5	9.52	-	L2EP5	L3E5	2.82					**C25**

Fonte: Autora, 2018.

M3: MATRIZ 3

L1 PAREDE | **L2** TETO | **L3** ESPAÇO

	M3 PONTUAL M3.P			DPI	M3 LINEAR M3.L			DPI	M3 SUPERFICIAL M3.S			DPI	M3 VOLUMÉTRICA M3.V			DPI	M3 NÃO VISÍVEL M3.I			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1PP1	L2TP1	L3E1	8,04	L1PL2	L2TP1	L3E1	6,14	L1PS3	L2TP1	L3E1	10,89	L1PV4	L2TP1	L3E1	8,57	L1PI5	L2TP1	L3E1	8,79	**C1**
C2	L1PP1	L2TP1	L3E2	8,15	L1PL2	L2TP1	L3E2	6,25	L1PS3	L2TP1	L3E2	11,00	L1PV4	L2TP1	L3E2	8,68	L1PI5	L2TP1	L3E2	8,90	**C2**
C3	L1PP1	L2TP1	L3E3	8,43	L1PL2	L2TP1	L3E3	6,53	L1PS3	L2TP1	L3E3	11,28	L1PV4	L2TP1	L3E3	8,96	L1PI5	L2TP1	L3E3	9,18	**C3**
C4	L1PP1	L2TP1	L3E4	8,92	L1PL2	L2TP1	L3E4	7,02	L1PS3	L2TP1	L3E4	11,77	L1PV4	L2TP1	L3E4	9,45	L1PI5	L2TP1	L3E4	9,67	**C4**
C5	L1PP1	L2TP1	L3E5	7,93	L1PL2	L2TP1	L3E5	6,03	L1PS3	L2TP1	L3E5	10,78	L1PV4	L2TP1	L3E5	8,46	L1PI5	L2TP1	L3E5	8,68	**C5**
C6	L1PP1	L2TL2	L3E1	9,59	L1PL2	L2TL2	L3E1	7,69	L1PS3	L2TL2	L3E1	12,44	L1PV4	L2TL2	L3E1	10,12	L1PI5	L2TL2	L3E1	10,34	**C6**
C7	L1PP1	L2TL2	L3E2	9,70	L1PL2	L2TL2	L3E2	7,80	L1PS3	L2TL2	L3E2	12,55	L1PV4	L2TL2	L3E2	10,23	L1PI5	L2TL2	L3E2	10,45	**C7**
C8	L1PP1	L2TL2	L3E3	9,98	L1PL2	L2TL2	L3E3	8,08	L1PS3	L2TL2	L3E3	12,83	L1PV4	L2TL2	L3E3	10,51	L1PI5	L2TL2	L3E3	10,73	**C8**
C9	L1PP1	L2TL2	L3E4	10,47	L1PL2	L2TL2	L3E4	8,57	L1PS3	L2TL2	L3E4	13,32	L1PV4	L2TL2	L3E4	11,00	L1PI5	L2TL2	L3E4	11,22	**C9**
C10	L1PP1	L2TL2	L3E5	9,48	L1PL2	L2TL2	L3E5	7,58	L1PS3	L2TL2	L3E5	12,33	L1PV4	L2TL2	L3E5	10,01	L1PI5	L2TL2	L3E5	10,23	**C10**
C11	L1PP1	L2TS3	L3E1	7,21	L1PL2	L2TS3	L3E1	5,31	L1PS3	L2TS3	L3E1	10,06	L1PV4	L2TS3	L3E1	7,74	L1PI5	L2TS3	L3E1	7,96	**C11**
C12	L1PP1	L2TS3	L3E2	7,32	L1PL2	L2TS3	L3E2	5,42	L1PS3	L2TS3	L3E2	10,17	L1PV4	L2TS3	L3E2	7,85	L1PI5	L2TS3	L3E2	8,07	**C12**
C13	L1PP1	L2TS3	L3E3	7,60	L1PL2	L2TS3	L3E3	5,70	L1PS3	L2TS3	L3E3	10,45	L1PV4	L2TS3	L3E3	8,13	L1PI5	L2TS3	L3E3	8,35	**C13**
C14	L1PP1	L2TS3	L3E4	8,09	L1PL2	L2TS3	L3E4	6,19	L1PS3	L2TS3	L3E4	10,94	L1PV4	L2TS3	L3E4	8,62	L1PI5	L2TS3	L3E4	8,84	**C14**
C15	L1PP1	L2TS3	L3E5	7,10	L1PL2	L2TS3	L3E5	5,20	L1PS3	L2TS3	L3E5	9,95	L1PV4	L2TS3	L3E5	7,63	L1PI5	L2TS3	L3E5	7,85	**C15**
C16	L1PP1	L2TV4	L3E1	7,60	L1PL2	L2TV4	L3E1	5,70	L1PS3	L2TV4	L3E1	10,45	L1PV4	L2TV4	L3E1	8,13	L1PI5	L2TV4	L3E1	8,35	**C16**
C17	L1PP1	L2TV4	L3E2	7,71	L1PL2	L2TV4	L3E2	5,81	L1PS3	L2TV4	L3E2	10,56	L1PV4	L2TV4	L3E2	8,24	L1PI5	L2TV4	L3E2	8,46	**C17**
C18	L1PP1	L2TV4	L3E3	7,99	L1PL2	L2TV4	L3E3	6,09	L1PS3	L2TV4	L3E3	10,84	L1PV4	L2TV4	L3E3	8,52	L1PI5	L2TV4	L3E3	8,74	**C18**
C19	L1PP1	L2TV4	L3E4	8,48	L1PL2	L2TV4	L3E4	6,58	L1PS3	L2TV4	L3E4	11,33	L1PV4	L2TV4	L3E4	9,01	L1PI5	L2TV4	L3E4	9,23	**C19**
C20	L1PP1	L2TV4	L3E5	7,49	L1PL2	L2TV4	L3E5	5,59	L1PS3	L2TV4	L3E5	10,34	L1PV4	L2TV4	L3E5	8,02	L1PI5	L2TV4	L3E5	8,24	**C20**
C21	L1PP1	L2TI5	L3E1	8,26	L1PL2	L2TI5	L3E1	6,36	L1PS3	L2TI5	L3E1	11,11	L1PV4	L2TI5	L3E1	8,79	L1PI5	L2TI5	L3E1	9,01	**C21**
C22	L1PP1	L2TI5	L3E2	8,37	L1PL2	L2TI5	L3E2	6,47	L1PS3	L2TI5	L3E2	11,22	L1PV4	L2TI5	L3E2	8,90	L1PI5	L2TI5	L3E2	9,12	**C22**
C23	L1PP1	L2TI5	L3E3	8,65	L1PL2	L2TI5	L3E3	6,75	L1PS3	L2TI5	L3E3	11,50	L1PV4	L2TI5	L3E3	9,18	L1PI5	L2TI5	L3E3	9,40	**C23**
C24	L1PP1	L2TI5	L3E4	9,14	L1PL2	L2TI5	L3E4	7,24	L1PS3	L2TI5	L3E4	11,99	L1PV4	L2TI5	L3E4	9,67	L1PI5	L2TI5	L3E4	9,89	**C24**
C25	L1PP1	L2TI5	L3E5	8,15	L1PL2	L2TI5	L3E5	6,25	L1PS3	L2TI5	L3E5	11,00	L1PV4	L2TI5	L3E5	8,68	L1PI5	L2TI5	L3E5	8,90	**C25**

Continua

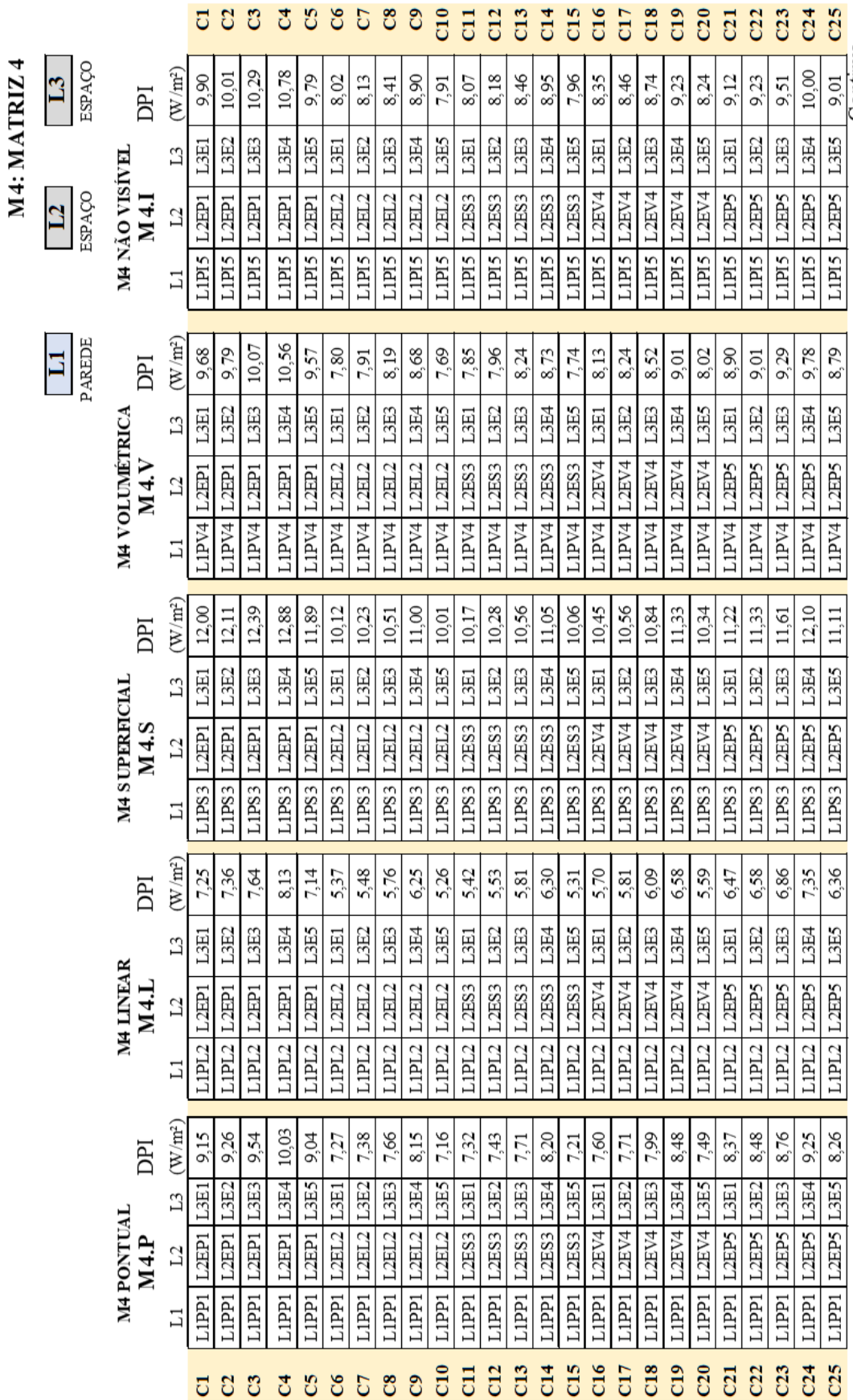
Fonte: Autora, 2018.

M3: MATRIZ 3

L1	L2	L3
PAREDE	TETO	ESPAÇO

	M3.a L1 v L2			DPI	M3.b L1 v L3			DPI	M3.c L2 v L3			DPI	L1P			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1PP1	L2TP1	-	7,43	L1PP1	-	L3E1	6,05	-	L2TP1	L3E1	2,60	L1PP1	-	-	5,44	**C1**
C2	L1PP1	L2TL2	-	8,98	L1PP1	-	L3E2	6,16	-	L2TP1	L3E2	2,71	L1PL2	-	-	3,54	**C2**
C3	L1PP1	L2TS3	-	6,60	L1PP1	-	L3E3	6,44	-	L2TP1	L3E3	2,99	L1PS3	-	-	8,29	**C3**
C4	L1PP1	L2TV4	-	6,99	L1PP1	-	L3E4	6,93	-	L2TP1	L3E4	3,48	L1PV4	-	-	5,97	**C4**
C5	L1PP1	L2TI5	-	7,65	L1PP1	-	L3E5	5,94	-	L2TP1	L3E5	2,49	L1PI5	-	-	6,19	**C5**
C6	L1PL2	L2TP1	-	5,53	L1PL2	-	L3E1	4,15	-	L2TL2	L3E1	4,15					**C6**
C7	L1PL2	L2TL2	-	7,08	L1PL2	-	L3E2	4,26	-	L2TL2	L3E2	4,26					**C7**
C8	L1PL2	L2TS3	-	4,70	L1PL2	-	L3E3	4,54	-	L2TL2	L3E3	4,54					**C8**
C9	L1PL2	L2TV4	-	5,09	L1PL2	-	L3E4	5,03	-	L2TL2	L3E4	5,03					**C9**
C10	L1PL2	L2TI5	-	5,75	L1PL2	-	L3E5	4,04	-	L2TL2	L3E5	4,04					**C10**
C11	L1PS3	L2TP1	-	10,28	L1PS3	-	L3E1	8,90	-	L2TS3	L3E1	1,77					**C11**
C12	L1PS3	L2TL2	-	11,83	L1PS3	-	L3E2	9,01	-	L2TS3	L3E2	1,88					**C12**
C13	L1PS3	L2TS3	-	9,45	L1PS3	-	L3E3	9,29	-	L2TS3	L3E3	2,16					**C13**
C14	L1PS3	L2TV4	-	9,84	L1PS3	-	L3E4	9,78	-	L2TS3	L3E4	2,65					**C14**
C15	L1PS3	L2TI5	-	10,50	L1PS3	-	L3E5	8,79	-	L2TS3	L3E5	1,66					**C15**
C16	L1PV4	L2TP1	-	7,96	L1PV4	-	L3E1	6,58	-	L2TV4	L3E1	2,16					**C16**
C17	L1PV4	L2TL2	-	9,51	L1PV4	-	L3E2	6,69	-	L2TV4	L3E2	2,27					**C17**
C18	L1PV4	L2TS3	-	7,13	L1PV4	-	L3E3	6,97	-	L2TV4	L3E3	2,55					**C18**
C19	L1PV4	L2TV4	-	7,52	L1PV4	-	L3E4	7,46	-	L2TV4	L3E4	3,04					**C19**
C20	L1PV4	L2TI5	-	8,18	L1PV4	-	L3E5	6,47	-	L2TV4	L3E5	2,05					**C20**
C21	L1PI5	L2TP1	-	8,18	L1PI5	-	L3E1	6,80	-	L2TI5	L3E1	2,82					**C21**
C22	L1PI5	L2TL2	-	9,73	L1PI5	-	L3E2	6,91	-	L2TI5	L3E2	2,93					**C22**
C23	L1PI5	L2TS3	-	7,35	L1PI5	-	L3E3	7,19	-	L2TI5	L3E3	3,21					**C23**
C24	L1PI5	L2TV4	-	7,74	L1PI5	-	L3E4	7,68	-	L2TI5	L3E4	3,70					**C24**
C25	L1PI5	L2TI5	-	8,40	L1PI5	-	L3E5	6,69	-	L2TI5	L3E5	2,71					**C25**

Anexo H4 - Banco de Dados da Matriz 4



M4: MATRIZ 4

L1 PAREDE | L2 ESPAÇO | L3 ESPAÇO

	M4 PONTUAL M4.P			DPI	M4 LINEAR M4.L			DPI	M4 SUPERFICIAL M4.S			DPI	M4 VOLUMÉTRICA M4.V			DPI	M4 NÃO VISÍVEL M4.I			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1PP1	L2EP1	L3E1	9,15	L1PL2	L2EP1	L3E1	7,25	L1PS3	L2EP1	L3E1	12,00	L1PV4	L2EP1	L3E1	9,68	L1PI5	L2EP1	L3E1	9,90	C1
C2	L1PP1	L2EP1	L3E2	9,26	L1PL2	L2EP1	L3E2	7,36	L1PS3	L2EP1	L3E2	12,11	L1PV4	L2EP1	L3E2	9,79	L1PI5	L2EP1	L3E2	10,01	C2
C3	L1PP1	L2EP1	L3E3	9,54	L1PL2	L2EP1	L3E3	7,64	L1PS3	L2EP1	L3E3	12,39	L1PV4	L2EP1	L3E3	10,07	L1PI5	L2EP1	L3E3	10,29	C3
C4	L1PP1	L2EP1	L3E4	10,03	L1PL2	L2EP1	L3E4	8,13	L1PS3	L2EP1	L3E4	12,88	L1PV4	L2EP1	L3E4	10,56	L1PI5	L2EP1	L3E4	10,78	C4
C5	L1PP1	L2EP1	L3E5	9,04	L1PL2	L2EP1	L3E5	7,14	L1PS3	L2EP1	L3E5	11,89	L1PV4	L2EP1	L3E5	9,57	L1PI5	L2EP1	L3E5	9,79	C5
C6	L1PP1	L2EL2	L3E1	7,27	L1PL2	L2EL2	L3E1	5,37	L1PS3	L2EL2	L3E1	10,12	L1PV4	L2EL2	L3E1	7,80	L1PI5	L2EL2	L3E1	8,02	C6
C7	L1PP1	L2EL2	L3E2	7,38	L1PL2	L2EL2	L3E2	5,48	L1PS3	L2EL2	L3E2	10,23	L1PV4	L2EL2	L3E2	7,91	L1PI5	L2EL2	L3E2	8,13	C7
C8	L1PP1	L2EL2	L3E3	7,66	L1PL2	L2EL2	L3E3	5,76	L1PS3	L2EL2	L3E3	10,51	L1PV4	L2EL2	L3E3	8,19	L1PI5	L2EL2	L3E3	8,41	C8
C9	L1PP1	L2EL2	L3E4	8,15	L1PL2	L2EL2	L3E4	6,25	L1PS3	L2EL2	L3E4	11,00	L1PV4	L2EL2	L3E4	8,68	L1PI5	L2EL2	L3E4	8,90	C9
C10	L1PP1	L2EL2	L3E5	7,16	L1PL2	L2EL2	L3E5	5,26	L1PS3	L2EL2	L3E5	10,01	L1PV4	L2EL2	L3E5	7,69	L1PI5	L2EL2	L3E5	7,91	C10
C11	L1PP1	L2ES3	L3E1	7,32	L1PL2	L2ES3	L3E1	5,42	L1PS3	L2ES3	L3E1	10,17	L1PV4	L2ES3	L3E1	7,85	L1PI5	L2ES3	L3E1	8,07	C11
C12	L1PP1	L2ES3	L3E2	7,43	L1PL2	L2ES3	L3E2	5,53	L1PS3	L2ES3	L3E2	10,28	L1PV4	L2ES3	L3E2	7,96	L1PI5	L2ES3	L3E2	8,18	C12
C13	L1PP1	L2ES3	L3E3	7,71	L1PL2	L2ES3	L3E3	5,81	L1PS3	L2ES3	L3E3	10,56	L1PV4	L2ES3	L3E3	8,24	L1PI5	L2ES3	L3E3	8,46	C13
C14	L1PP1	L2ES3	L3E4	8,20	L1PL2	L2ES3	L3E4	6,30	L1PS3	L2ES3	L3E4	11,05	L1PV4	L2ES3	L3E4	8,73	L1PI5	L2ES3	L3E4	8,95	C14
C15	L1PP1	L2ES3	L3E5	7,21	L1PL2	L2ES3	L3E5	5,31	L1PS3	L2ES3	L3E5	10,06	L1PV4	L2ES3	L3E5	7,74	L1PI5	L2ES3	L3E5	7,96	C15
C16	L1PP1	L2EV4	L3E1	7,60	L1PL2	L2EV4	L3E1	5,70	L1PS3	L2EV4	L3E1	10,45	L1PV4	L2EV4	L3E1	8,13	L1PI5	L2EV4	L3E1	8,35	C16
C17	L1PP1	L2EV4	L3E2	7,71	L1PL2	L2EV4	L3E2	5,81	L1PS3	L2EV4	L3E2	10,56	L1PV4	L2EV4	L3E2	8,24	L1PI5	L2EV4	L3E2	8,46	C17
C18	L1PP1	L2EV4	L3E3	7,99	L1PL2	L2EV4	L3E3	6,09	L1PS3	L2EV4	L3E3	10,84	L1PV4	L2EV4	L3E3	8,52	L1PI5	L2EV4	L3E3	8,74	C18
C19	L1PP1	L2EV4	L3E4	8,48	L1PL2	L2EV4	L3E4	6,58	L1PS3	L2EV4	L3E4	11,33	L1PV4	L2EV4	L3E4	9,01	L1PI5	L2EV4	L3E4	9,23	C19
C20	L1PP1	L2EV4	L3E5	7,49	L1PL2	L2EV4	L3E5	5,59	L1PS3	L2EV4	L3E5	10,34	L1PV4	L2EV4	L3E5	8,02	L1PI5	L2EV4	L3E5	8,24	C20
C21	L1PP1	L2EP5	L3E1	8,37	L1PL2	L2EP5	L3E1	6,47	L1PS3	L2EP5	L3E1	11,22	L1PV4	L2EP5	L3E1	8,90	L1PI5	L2EP5	L3E1	9,12	C21
C22	L1PP1	L2EP5	L3E2	8,48	L1PL2	L2EP5	L3E2	6,58	L1PS3	L2EP5	L3E2	11,33	L1PV4	L2EP5	L3E2	9,01	L1PI5	L2EP5	L3E2	9,23	C22
C23	L1PP1	L2EP5	L3E3	8,76	L1PL2	L2EP5	L3E3	6,86	L1PS3	L2EP5	L3E3	11,61	L1PV4	L2EP5	L3E3	9,29	L1PI5	L2EP5	L3E3	9,51	C23
C24	L1PP1	L2EP5	L3E4	9,25	L1PL2	L2EP5	L3E4	7,35	L1PS3	L2EP5	L3E4	12,10	L1PV4	L2EP5	L3E4	9,78	L1PI5	L2EP5	L3E4	10,00	C24
C25	L1PP1	L2EP5	L3E5	8,26	L1PL2	L2EP5	L3E5	6,36	L1PS3	L2EP5	L3E5	11,11	L1PV4	L2EP5	L3E5	8,79	L1PI5	L2EP5	L3E5	9,01	C25

Contínua

Fonte: Autora, 2018.

M4: MATRIZ 4

	L1 PAREDE	L2 ESPAÇO	L3 ESPAÇO

	M4.a L1 v L2			DPI	M4.b L1 v L3			DPI	M4.c L2 v L3			DPI	L1P L1			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1PP1	L2EP1	-	8,54	L1PP1	-	L3E1	6,05	-	L2EP1	L3E1	3,71	L1PP1	-	-	5,44	**C1**
C2	L1PP1	L2EL2	-	6,66	L1PP1	-	L3E2	6,16	-	L2EP1	L3E2	3,82	L1PL2	-	-	3,54	**C2**
C3	L1PP1	L2ES3	-	6,71	L1PP1	-	L3E3	6,44	-	L2EP1	L3E3	4,1	L1PS3	-	-	8,29	**C3**
C4	L1PP1	L2EV4	-	6,99	L1PP1	-	L3E4	6,93	-	L2EP1	L3E4	4,59	L1PV4	-	-	5,97	**C4**
C5	L1PP1	L2EP5	-	7,76	L1PP1	-	L3E5	5,94	-	L2EP1	L3E5	3,6	L1PI5	-	-	6,19	**C5**
C6	L1PL2	L2EP1	-	6,64	L1PL2	-	L3E1	4,15	-	L2EL2	L3E1	1,83					**C6**
C7	L1PL2	L2EL2	-	4,76	L1PL2	-	L3E2	4,26	-	L2EL2	L3E2	1,94					**C7**
C8	L1PL2	L2ES3	-	4,81	L1PL2	-	L3E3	4,54	-	L2EL2	L3E3	2,22					**C8**
C9	L1PL2	L2EV4	-	5,09	L1PL2	-	L3E4	5,03	-	L2EL2	L3E4	2,71					**C9**
C10	L1PL2	L2EP5	-	5,86	L1PL2	-	L3E5	4,04	-	L2EL2	L3E5	1,72					**C10**
C11	L1PS3	L2EP1	-	11,39	L1PS3	-	L3E1	8,9	-	L2ES3	L3E1	1,88					**C11**
C12	L1PS3	L2EL2	-	9,51	L1PS3	-	L3E2	9,01	-	L2ES3	L3E2	1,99					**C12**
C13	L1PS3	L2ES3	-	9,56	L1PS3	-	L3E3	9,29	-	L2ES3	L3E3	2,27					**C13**
C14	L1PS3	L2EV4	-	9,84	L1PS3	-	L3E4	9,78	-	L2ES3	L3E4	2,76					**C14**
C15	L1PS3	L2EP5	-	10,61	L1PS3	-	L3E5	8,79	-	L2ES3	L3E5	1,77					**C15**
C16	L1PV4	L2EP1	-	9,07	L1PV4	-	L3E1	6,58	-	L2EV4	L3E1	2,16					**C16**
C17	L1PV4	L2EL2	-	7,19	L1PV4	-	L3E2	6,69	-	L2EV4	L3E2	2,27					**C17**
C18	L1PV4	L2ES3	-	7,24	L1PV4	-	L3E3	6,97	-	L2EV4	L3E3	2,55					**C18**
C19	L1PV4	L2EV4	-	7,52	L1PV4	-	L3E4	7,46	-	L2EV4	L3E4	3,04					**C19**
C20	L1PV4	L2EP5	-	8,29	L1PV4	-	L3E5	6,47	-	L2EV4	L3E5	2,05					**C20**
C21	L1PI5	L2EP1	-	9,29	L1PI5	-	L3E1	6,8	-	L2EP5	L3E1	2,93					**C21**
C22	L1PI5	L2EL2	-	7,41	L1PI5	-	L3E2	6,91	-	L2EP5	L3E2	3,04					**C22**
C23	L1PI5	L2ES3	-	7,46	L1PI5	-	L3E3	7,19	-	L2EP5	L3E3	3,32					**C23**
C24	L1PI5	L2EV4	-	7,74	L1PI5	-	L3E4	7,68	-	L2EP5	L3E4	3,81					**C24**
C25	L1PI5	L2EP5	-	8,51	L1PI5	-	L3E5	6,69	-	L2EP5	L3E5	2,82					**C25**

M5: MATRIZ 5

	L1	L2	L3
	ESPAÇO	TETO	ESPAÇO

	M5 PONTUAL M5.P			DPI	M5 LINEAR M5.L			DPI	M5 SUPERFICIAL M5.S			DPI	M5 VOLUMÉTRICA M5.V			DPI	M5 PONTUAL M5.P			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1EP1	L2TP1	L3E1	7,24	L1EL2	L2TP1	L3E1	5,03	L1ES3	L2TP1	L3E1	6,14	L1EV4	L2TP1	L3E1	5,92	L1PP5	L2TP1	L3E1	8,02	**C1**
C2	L1EP1	L2TP1	L3E2	7,35	L1EL2	L2TP1	L3E2	5,14	L1ES3	L2TP1	L3E2	6,25	L1EV4	L2TP1	L3E2	6,03	L1PP5	L2TP1	L3E2	8,13	**C2**
C3	L1EP1	L2TP1	L3E3	7,63	L1EL2	L2TP1	L3E3	5,42	L1ES3	L2TP1	L3E3	6,53	L1EV4	L2TP1	L3E3	6,31	L1PP5	L2TP1	L3E3	8,41	**C3**
C4	L1EP1	L2TP1	L3E4	8,12	L1EL2	L2TP1	L3E4	5,91	L1ES3	L2TP1	L3E4	7,02	L1EV4	L2TP1	L3E4	6,80	L1PP5	L2TP1	L3E4	8,90	**C4**
C5	L1EP1	L2TP1	L3E5	7,13	L1EL2	L2TP1	L3E5	4,92	L1ES3	L2TP1	L3E5	6,03	L1EV4	L2TP1	L3E5	5,81	L1PP5	L2TP1	L3E5	7,91	**C5**
C6	L1EP1	L2TL2	L3E1	8,79	L1EL2	L2TL2	L3E1	6,58	L1ES3	L2TL2	L3E1	7,69	L1EV4	L2TL2	L3E1	7,47	L1PP5	L2TL2	L3E1	9,57	**C6**
C7	L1EP1	L2TL2	L3E2	8,90	L1EL2	L2TL2	L3E2	6,69	L1ES3	L2TL2	L3E2	7,80	L1EV4	L2TL2	L3E2	7,58	L1PP5	L2TL2	L3E2	9,68	**C7**
C8	L1EP1	L2TL2	L3E3	9,18	L1EL2	L2TL2	L3E3	6,97	L1ES3	L2TL2	L3E3	8,08	L1EV4	L2TL2	L3E3	7,86	L1PP5	L2TL2	L3E3	9,96	**C8**
C9	L1EP1	L2TL2	L3E4	9,67	L1EL2	L2TL2	L3E4	7,46	L1ES3	L2TL2	L3E4	8,57	L1EV4	L2TL2	L3E4	8,35	L1PP5	L2TL2	L3E4	10,45	**C9**
C10	L1EP1	L2TL2	L3E5	8,68	L1EL2	L2TL2	L3E5	6,47	L1ES3	L2TL2	L3E5	7,58	L1EV4	L2TL2	L3E5	7,36	L1PP5	L2TL2	L3E5	9,46	**C10**
C11	L1EP1	L2TS3	L3E1	6,41	L1EL2	L2TS3	L3E1	4,20	L1ES3	L2TS3	L3E1	5,31	L1EV4	L2TS3	L3E1	5,09	L1PP5	L2TS3	L3E1	7,19	**C11**
C12	L1EP1	L2TS3	L3E2	6,52	L1EL2	L2TS3	L3E2	4,31	L1ES3	L2TS3	L3E2	5,42	L1EV4	L2TS3	L3E2	5,20	L1PP5	L2TS3	L3E2	7,30	**C12**
C13	L1EP1	L2TS3	L3E3	6,80	L1EL2	L2TS3	L3E3	4,59	L1ES3	L2TS3	L3E3	5,70	L1EV4	L2TS3	L3E3	5,48	L1PP5	L2TS3	L3E3	7,58	**C13**
C14	L1EP1	L2TS3	L3E4	7,29	L1EL2	L2TS3	L3E4	5,08	L1ES3	L2TS3	L3E4	6,19	L1EV4	L2TS3	L3E4	5,97	L1PP5	L2TS3	L3E4	8,07	**C14**
C15	L1EP1	L2TS3	L3E5	6,30	L1EL2	L2TS3	L3E5	4,09	L1ES3	L2TS3	L3E5	5,20	L1EV4	L2TS3	L3E5	4,98	L1PP5	L2TS3	L3E5	7,08	**C15**
C16	L1EP1	L2TV4	L3E1	6,80	L1EL2	L2TV4	L3E1	4,59	L1ES3	L2TV4	L3E1	5,70	L1EV4	L2TV4	L3E1	5,48	L1PP5	L2TV4	L3E1	7,58	**C16**
C17	L1EP1	L2TV4	L3E2	6,91	L1EL2	L2TV4	L3E2	4,70	L1ES3	L2TV4	L3E2	5,81	L1EV4	L2TV4	L3E2	5,59	L1PP5	L2TV4	L3E2	7,69	**C17**
C18	L1EP1	L2TV4	L3E3	7,19	L1EL2	L2TV4	L3E3	4,98	L1ES3	L2TV4	L3E3	6,09	L1EV4	L2TV4	L3E3	5,87	L1PP5	L2TV4	L3E3	7,97	**C18**
C19	L1EP1	L2TV4	L3E4	7,68	L1EL2	L2TV4	L3E4	5,47	L1ES3	L2TV4	L3E4	6,58	L1EV4	L2TV4	L3E4	6,36	L1PP5	L2TV4	L3E4	8,46	**C19**
C20	L1EP1	L2TV4	L3E5	6,69	L1EL2	L2TV4	L3E5	4,48	L1ES3	L2TV4	L3E5	5,59	L1EV4	L2TV4	L3E5	5,37	L1PP5	L2TV4	L3E5	7,47	**C20**
C21	L1EP1	L2TI5	L3E1	7,46	L1EL2	L2TI5	L3E1	5,25	L1ES3	L2TI5	L3E1	6,36	L1EV4	L2TI5	L3E1	6,14	L1PP5	L2TI5	L3E1	8,24	**C21**
C22	L1EP1	L2TI5	L3E2	7,57	L1EL2	L2TI5	L3E2	5,36	L1ES3	L2TI5	L3E2	6,47	L1EV4	L2TI5	L3E2	6,25	L1PP5	L2TI5	L3E2	8,35	**C22**
C23	L1EP1	L2TI5	L3E3	7,85	L1EL2	L2TI5	L3E3	5,64	L1ES3	L2TI5	L3E3	6,75	L1EV4	L2TI5	L3E3	6,53	L1PP5	L2TI5	L3E3	8,63	**C23**
C24	L1EP1	L2TI5	L3E4	8,34	L1EL2	L2TI5	L3E4	6,13	L1ES3	L2TI5	L3E4	7,24	L1EV4	L2TI5	L3E4	7,02	L1PP5	L2TI5	L3E4	9,12	**C24**
C25	L1EP1	L2TI5	L3E5	7,35	L1EL2	L2TI5	L3E5	5,14	L1ES3	L2TI5	L3E5	6,25	L1EV4	L2TI5	L3E5	6,03	L1PP5	L2TI5	L3E5	8,13	**C25**

Continua

M5: MATRIZ 5

	L1 ESPAÇO	L2 TETO	L3 ESPAÇO

	M5.a L1 v L2				M5.b L1 v L3				M5.c L2 v L3				L1E L1				
	L1	L2	L3	DPI (W/m²)	L1	L2	L3	DPI (W/m²)	L1	L2	L3	DPI (W/m²)	L1	L2	L3	DPI (W/m²)	
C1	L1EP1	L2TP1	-	6,63	L1EP1	-	L3E1	5,25	-	L2TP1	L3E1	2,60	L1EP1	-	-	4,64	**C1**
C2	L1EP1	L2TL2	-	8,18	L1EP1	-	L3E2	5,36	-	L2TP1	L3E2	2,71	L1EL2	-	-	2,43	**C2**
C3	L1EP1	L2TS3	-	5,80	L1EP1	-	L3E3	5,64	-	L2TP1	L3E3	2,99	L1ES3	-	-	3,54	**C3**
C4	L1EP1	L2TV4	-	6,19	L1EP1	-	L3E4	6,13	-	L2TP1	L3E4	3,48	L1EV4	-	-	3,32	**C4**
C5	L1EP1	L2TI5	-	6,85	L1EP1	-	L3E5	5,14	-	L2TP1	L3E5	2,49	L1PP5	-	-	5,42	**C5**
C6	L1EL2	L2TP1	-	4,42	L1EL2	-	L3E1	3,04	-	L2TL2	L3E1	4,15					**C6**
C7	L1EL2	L2TL2	-	5,97	L1EL2	-	L3E2	3,15	-	L2TL2	L3E2	4,26					**C7**
C8	L1EL2	L2TS3	-	3,59	L1EL2	-	L3E3	3,43	-	L2TL2	L3E3	4,54					**C8**
C9	L1EL2	L2TV4	-	3,98	L1EL2	-	L3E4	3,92	-	L2TL2	L3E4	5,03					**C9**
C10	L1EL2	L2TI5	-	4,64	L1EL2	-	L3E5	2,93	-	L2TL2	L3E5	4,04					**C10**
C11	L1ES3	L2TP1	-	5,53	L1ES3	-	L3E1	4,15	-	L2TS3	L3E1	1,77					**C11**
C12	L1ES3	L2TL2	-	7,08	L1ES3	-	L3E2	4,26	-	L2TS3	L3E2	1,88					**C12**
C13	L1ES3	L2TS3	-	4,70	L1ES3	-	L3E3	4,54	-	L2TS3	L3E3	2,16					**C13**
C14	L1ES3	L2TV4	-	5,09	L1ES3	-	L3E4	5,03	-	L2TS3	L3E4	2,65					**C14**
C15	L1ES3	L2TI5	-	5,75	L1ES3	-	L3E5	4,04	-	L2TS3	L3E5	1,66					**C15**
C16	L1EV4	L2TP1	-	5,31	L1EV4	-	L3E1	3,93	-	L2TV4	L3E1	2,16					**C16**
C17	L1EV4	L2TL2	-	6,86	L1EV4	-	L3E2	4,04	-	L2TV4	L3E2	2,27					**C17**
C18	L1EV4	L2TS3	-	4,48	L1EV4	-	L3E3	4,32	-	L2TV4	L3E3	2,55					**C18**
C19	L1EV4	L2TV4	-	4,87	L1EV4	-	L3E4	4,81	-	L2TV4	L3E4	3,04					**C19**
C20	L1EV4	L2TI5	-	5,53	L1EV4	-	L3E5	3,82	-	L2TV4	L3E5	2,05					**C20**
C21	L1PP5	L2TP1	-	7,41	L1PP5	-	L3E1	6,03	-	L2TI5	L3E1	2,82					**C21**
C22	L1PP5	L2TL2	-	8,96	L1PP5	-	L3E2	6,14	-	L2TI5	L3E2	2,93					**C22**
C23	L1PP5	L2TS3	-	6,58	L1PP5	-	L3E3	6,42	-	L2TI5	L3E3	3,21					**C23**
C24	L1PP5	L2TV4	-	6,97	L1PP5	-	L3E4	6,91	-	L2TI5	L3E4	3,70					**C24**
C25	L1PP5	L2TI5	-	7,63	L1PP5	-	L3E5	5,92	-	L2TI5	L3E5	2,71					**C25**

Fonte: Autora, 2018.

M6: MATRIZ 6

	L1	L2	L3
	ESPAÇO	PAREDE	ESPAÇO

	M6 PONTUAL M6.P			DPI	M6 LINEAR M6.L			DPI	M6 SUPERFICIAL M6.S			DPI	M6 VOLUMÉTRICA M6.V			DPI	M6 PONTUAL M6.P			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1EP1	L2PP1	L3E1	6,61	L1EL2	L2PP1	L3E1	4,40	L1ES3	L2PP1	L3E1	5,51	L1EV4	L2PP1	L3E1	5,29	L1PP5	L2PP1	L3E1	7,39	**C1**
C2	L1EP1	L2PP1	L3E2	6,72	L1EL2	L2PP1	L3E2	4,51	L1ES3	L2PP1	L3E2	5,62	L1EV4	L2PP1	L3E2	5,40	L1PP5	L2PP1	L3E2	7,50	**C2**
C3	L1EP1	L2PP1	L3E3	7,00	L1EL2	L2PP1	L3E3	4,79	L1ES3	L2PP1	L3E3	5,90	L1EV4	L2PP1	L3E3	5,68	L1PP5	L2PP1	L3E3	7,78	**C3**
C4	L1EP1	L2PP1	L3E4	7,49	L1EL2	L2PP1	L3E4	5,28	L1ES3	L2PP1	L3E4	6,39	L1EV4	L2PP1	L3E4	6,17	L1PP5	L2PP1	L3E4	8,27	**C4**
C5	L1EP1	L2PP1	L3E5	6,50	L1EL2	L2PP1	L3E5	4,29	L1ES3	L2PP1	L3E5	5,40	L1EV4	L2PP1	L3E5	5,18	L1PP5	L2PP1	L3E5	7,28	**C5**
C6	L1EP1	L2PL2	L3E1	6,91	L1EL2	L2PL2	L3E1	4,70	L1ES3	L2PL2	L3E1	5,81	L1EV4	L2PL2	L3E1	5,59	L1PP5	L2PL2	L3E1	7,69	**C6**
C7	L1EP1	L2PL2	L3E2	7,02	L1EL2	L2PL2	L3E2	4,81	L1ES3	L2PL2	L3E2	5,92	L1EV4	L2PL2	L3E2	5,70	L1PP5	L2PL2	L3E2	7,80	**C7**
C8	L1EP1	L2PL2	L3E3	7,30	L1EL2	L2PL2	L3E3	5,09	L1ES3	L2PL2	L3E3	6,20	L1EV4	L2PL2	L3E3	5,98	L1PP5	L2PL2	L3E3	8,08	**C8**
C9	L1EP1	L2PL2	L3E4	7,79	L1EL2	L2PL2	L3E4	5,58	L1ES3	L2PL2	L3E4	6,69	L1EV4	L2PL2	L3E4	6,47	L1PP5	L2PL2	L3E4	8,57	**C9**
C10	L1EP1	L2PL2	L3E5	6,80	L1EL2	L2PL2	L3E5	4,59	L1ES3	L2PL2	L3E5	5,70	L1EV4	L2PL2	L3E5	5,48	L1PP5	L2PL2	L3E5	7,58	**C10**
C11	L1EP1	L2PS3	L3E1	7,24	L1EL2	L2PS3	L3E1	5,03	L1ES3	L2PS3	L3E1	6,14	L1EV4	L2PS3	L3E1	5,92	L1PP5	L2PS3	L3E1	8,02	**C11**
C12	L1EP1	L2PS3	L3E2	7,35	L1EL2	L2PS3	L3E2	5,14	L1ES3	L2PS3	L3E2	6,25	L1EV4	L2PS3	L3E2	6,03	L1PP5	L2PS3	L3E2	8,13	**C12**
C13	L1EP1	L2PS3	L3E3	7,63	L1EL2	L2PS3	L3E3	5,42	L1ES3	L2PS3	L3E3	6,53	L1EV4	L2PS3	L3E3	6,31	L1PP5	L2PS3	L3E3	8,41	**C13**
C14	L1EP1	L2PS3	L3E4	8,12	L1EL2	L2PS3	L3E4	5,91	L1ES3	L2PS3	L3E4	7,02	L1EV4	L2PS3	L3E4	6,80	L1PP5	L2PS3	L3E4	8,90	**C14**
C15	L1EP1	L2PS3	L3E5	7,13	L1EL2	L2PS3	L3E5	4,92	L1ES3	L2PS3	L3E5	6,03	L1EV4	L2PS3	L3E5	5,81	L1PP5	L2PS3	L3E5	7,91	**C15**
C16	L1EP1	L2PV4	L3E1	7,24	L1EL2	L2PV4	L3E1	5,03	L1ES3	L2PV4	L3E1	6,14	L1EV4	L2PV4	L3E1	5,92	L1PP5	L2PV4	L3E1	8,02	**C16**
C17	L1EP1	L2PV4	L3E2	7,35	L1EL2	L2PV4	L3E2	5,14	L1ES3	L2PV4	L3E2	6,25	L1EV4	L2PV4	L3E2	6,03	L1PP5	L2PV4	L3E2	8,13	**C17**
C18	L1EP1	L2PV4	L3E3	7,63	L1EL2	L2PV4	L3E3	5,42	L1ES3	L2PV4	L3E3	6,53	L1EV4	L2PV4	L3E3	6,31	L1PP5	L2PV4	L3E3	8,41	**C18**
C19	L1EP1	L2PV4	L3E4	8,12	L1EL2	L2PV4	L3E4	5,91	L1ES3	L2PV4	L3E4	7,02	L1EV4	L2PV4	L3E4	6,80	L1PP5	L2PV4	L3E4	8,90	**C19**
C20	L1EP1	L2PV4	L3E5	7,13	L1EL2	L2PV4	L3E5	4,92	L1ES3	L2PV4	L3E5	6,03	L1EV4	L2PV4	L3E5	5,81	L1PP5	L2PV4	L3E5	7,91	**C20**
C21	L1EP1	L2PI5	L3E1	7,37	L1EL2	L2PI5	L3E1	5,16	L1ES3	L2PI5	L3E1	6,27	L1EV4	L2PI5	L3E1	6,05	L1PP5	L2PI5	L3E1	8,15	**C21**
C22	L1EP1	L2PI5	L3E2	7,48	L1EL2	L2PI5	L3E2	5,27	L1ES3	L2PI5	L3E2	6,38	L1EV4	L2PI5	L3E2	6,16	L1PP5	L2PI5	L3E2	8,26	**C22**
C23	L1EP1	L2PI5	L3E3	7,76	L1EL2	L2PI5	L3E3	5,55	L1ES3	L2PI5	L3E3	6,66	L1EV4	L2PI5	L3E3	6,44	L1PP5	L2PI5	L3E3	8,54	**C23**
C24	L1EP1	L2PI5	L3E4	8,25	L1EL2	L2PI5	L3E4	6,04	L1ES3	L2PI5	L3E4	7,15	L1EV4	L2PI5	L3E4	6,93	L1PP5	L2PI5	L3E4	9,03	**C24**
C25	L1EP1	L2PI5	L3E5	7,26	L1EL2	L2PI5	L3E5	5,05	L1ES3	L2PI5	L3E5	6,16	L1EV4	L2PI5	L3E5	5,94	L1PP5	L2PI5	L3E5	8,04	**C25**

Continua

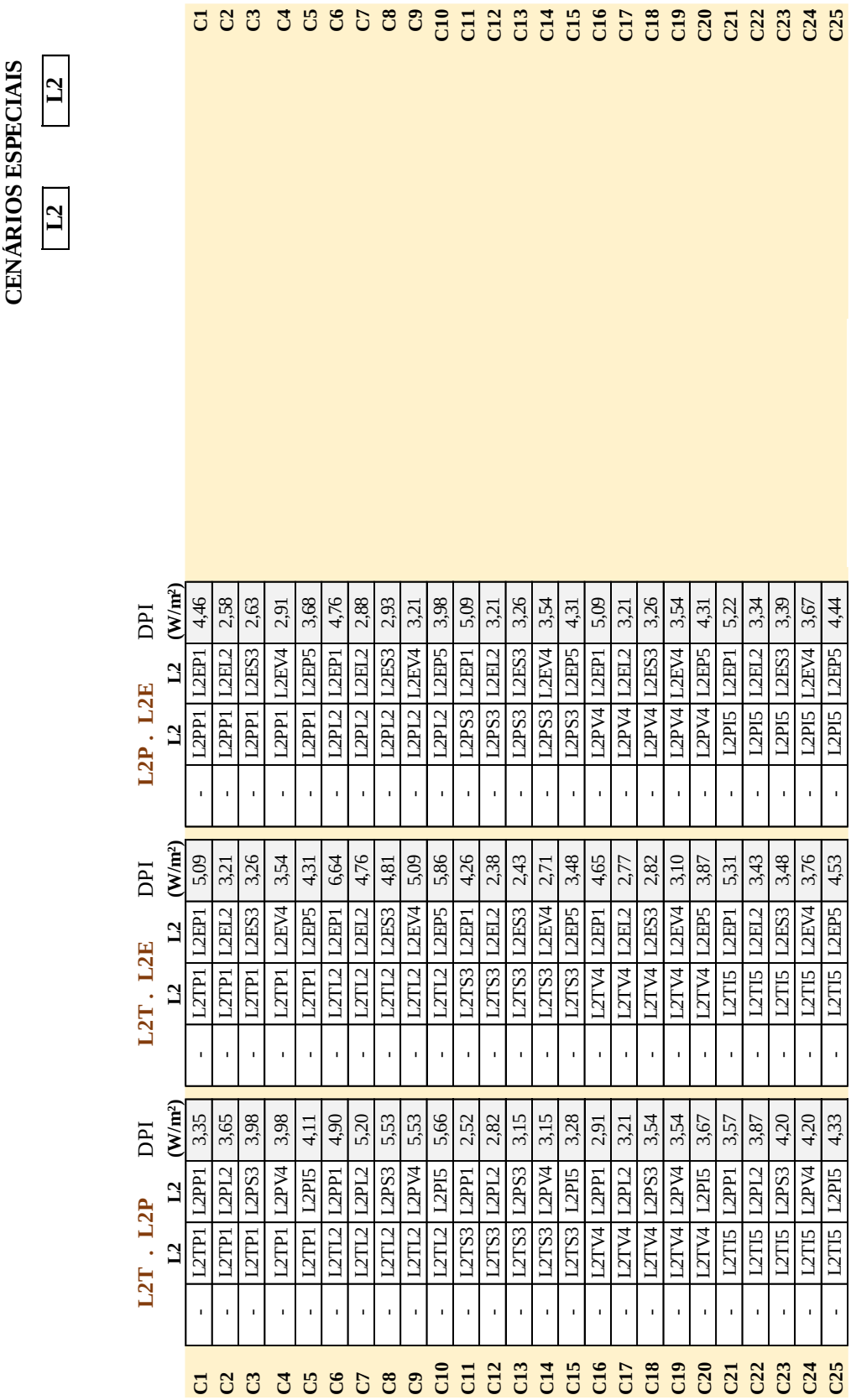
M6: MATRIZ 6

L1	L2	L3
ESPAÇO	PAREDE	ESPAÇO

	M6.a L1 v L2			DPI	M6.b L1 v L3			DPI	M6.c L2 v L3			DPI	L1E L1			DPI	
	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	L1	L2	L3	(W/m²)	
C1	L1EP1	L2PP1	-	6,00	L1EP1	-	L3E1	5,25	-	L2PP1	L3E1	1,97	L1EP1	-	-	4,64	**C1**
C2	L1EP1	L2PL2	-	6,30	L1EP1	-	L3E2	5,36	-	L2PP1	L3E2	2,08	L1EL2	-	-	2,43	**C2**
C3	L1EP1	L2PS3	-	6,63	L1EP1	-	L3E3	5,64	-	L2PP1	L3E3	2,36	L1ES3	-	-	3,54	**C3**
C4	L1EP1	L2PV4	-	6,63	L1EP1	-	L3E4	6,13	-	L2PP1	L3E4	2,85	L1EV4	-	-	3,32	**C4**
C5	L1EP1	L2PI5	-	6,76	L1EP1	-	L3E5	5,14	-	L2PP1	L3E5	1,86	L1PP5	-	-	5,42	**C5**
C6	L1EL2	L2PP1	-	3,79	L1EL2	-	L3E1	3,04	-	L2PL2	L3E1	2,27					**C6**
C7	L1EL2	L2PL2	-	4,09	L1EL2	-	L3E2	3,15	-	L2PL2	L3E2	2,38					**C7**
C8	L1EL2	L2PS3	-	4,42	L1EL2	-	L3E3	3,43	-	L2PL2	L3E3	2,66					**C8**
C9	L1EL2	L2PV4	-	4,42	L1EL2	-	L3E4	3,92	-	L2PL2	L3E4	3,15					**C9**
C10	L1EL2	L2PI5	-	4,55	L1EL2	-	L3E5	2,93	-	L2PL2	L3E5	2,16					**C10**
C11	L1ES3	L2PP1	-	4,90	L1ES3	-	L3E1	4,15	-	L2PS3	L3E1	2,60					**C11**
C12	L1ES3	L2PL2	-	5,20	L1ES3	-	L3E2	4,26	-	L2PS3	L3E2	2,71					**C12**
C13	L1ES3	L2PS3	-	5,53	L1ES3	-	L3E3	4,54	-	L2PS3	L3E3	2,99					**C13**
C14	L1ES3	L2PV4	-	5,53	L1ES3	-	L3E4	5,03	-	L2PS3	L3E4	3,48					**C14**
C15	L1ES3	L2PI5	-	5,66	L1ES3	-	L3E5	4,04	-	L2PS3	L3E5	2,49					**C15**
C16	L1EV4	L2PP1	-	4,68	L1EV4	-	L3E1	3,93	-	L2PV4	L3E1	2,60					**C16**
C17	L1EV4	L2PL2	-	4,98	L1EV4	-	L3E2	4,04	-	L2PV4	L3E2	2,71					**C17**
C18	L1EV4	L2PS3	-	5,31	L1EV4	-	L3E3	4,32	-	L2PV4	L3E3	2,99					**C18**
C19	L1EV4	L2PV4	-	5,31	L1EV4	-	L3E4	4,81	-	L2PV4	L3E4	3,48					**C19**
C20	L1EV4	L2PI5	-	5,44	L1EV4	-	L3E5	3,82	-	L2PV4	L3E5	2,49					**C20**
C21	L1PP5	L2PP1	-	6,78	L1PP5	-	L3E1	6,03	-	L2PI5	L3E1	2,73					**C21**
C22	L1PP5	L2PL2	-	7,08	L1PP5	-	L3E2	6,14	-	L2PI5	L3E2	2,84					**C22**
C23	L1PP5	L2PS3	-	7,41	L1PP5	-	L3E3	6,42	-	L2PI5	L3E3	3,12					**C23**
C24	L1PP5	L2PV4	-	7,41	L1PP5	-	L3E4	6,91	-	L2PI5	L3E4	3,61					**C24**
C25	L1PP5	L2PI5	-	7,54	L1PP5	-	L3E5	5,92	-	L2PI5	L3E5	2,62					**C25**

Fonte: Autora, 2018.

Anexo H7 - Banco de Dados dos Cenários Especiais



Fonte: Autora, 2018.