

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE ARTES - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ARQUITETURA E URBANISMO**

**GABRIEL DE SOUSA SANTOS**

**TUBOS DE LUZ NATURAL EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

**VITÓRIA**

**2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO DE ARTES - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ARQUITETURA E URBANISMO**

**GABRIEL DE SOUSA SANTOS**

**TUBOS DE LUZ NATURAL EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Centro de Artes da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andréa Coelho Laranja

**VITÓRIA**

**2024**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

S237t Santos, Gabriel de Sousa, 1992-  
Tubos de luz natural em habitação de interesse social / Gabriel  
de Sousa Santos. - 2024.  
158 p. : il.

Orientadora: Andréa Coelho Laranja.  
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Arquitetura e radiação solar. 2. Habitação popular. 3.  
Cozinhas. I. Laranja, Andréa Coelho. II. Universidade Federal  
do Espírito Santo. Centro de Artes. III. Título.

CDU: 72

---

GABRIEL DE SOUSA SANTOS

**"TUBOS DE LUZ NATURAL EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL"**

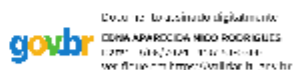
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 12 de agosto de 2024.

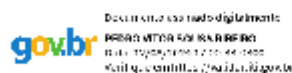
**Comissão Examinadora**



**Prof. Dra. Andréa Coelho Laranja**  
(orientadora – PPGAU/UFES)



**Prof. Dra. Edna Aparecida Nico Rodrigues**  
(membro interno – PPGAU/UFES)



**Prof. Dr. Pedro Vitor Sousa Ribeiro**  
(membro externo – UFS)

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por sua graça e todas as portas que se abriram e que se fecharam. Obrigado por me conduzir pelos difíceis processos da vida que me servem de aprendizado, que me moldam e me tornam uma pessoa mais capaz.

À minha família, por acreditar em meu potencial, por todo suporte e afeto. Agradeço especialmente a todos que me ajudaram durante a mudança para Vitória e mudança de apartamento. Obrigado, mãe, por suas orações.

À professora e orientadora Andrea, a quem admiro, por trilhar essa jornada ao meu lado, por toda paciência, cuidado, ensinamento e incentivo. Obrigado por contribuir para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Aos amigos que tenho e que ganhei durante estes dois anos e meio. Obrigado por torcerem por mim e serem compreensivos quanto a minha ausência.

Aos professores Edna Nico Rodrigues e Pedro Vitor Sousa Ribeiro pela disponibilidade, suporte e contribuições acadêmicas.

Aos colegas do PPGAU/Ufes e LPP, por dividirem experiências e conhecimentos, por todas as risadas e lanches em meio à correria da vida acadêmica. Por fim, a todos que contribuíram para a conclusão desta pesquisa de forma direta ou indiretamente, obrigado!

## RESUMO

A luz natural traz benefícios psicofisiológicos para os usuários e a autoconstrução pode interferir na disponibilidade deste recurso nos ambientes. Desta forma, aberturas zenitais do tipo tubo de luz natural, podem ser adotadas como estratégia preventiva à adequada disponibilidade de iluminação natural, em habitações de interesse social passíveis de autoconstrução. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo analisar a performance lumínica de tubos de luz natural em ambiente de cozinha de habitação unifamiliar de interesse social. A metodologia foi dividida em duas fases, a saber: na **Fase 01** (20 modelos) foi possível analisar a disponibilidade de luz natural no ambiente interno, proveniente de tubo de luz natural, assim como a influência da adição de Joelho, variação da inclinação e aumento do comprimento e dimensão da seção do tubo. Na **Fase 02** (5 modelos), a partir de estudo de caso, procedeu análise da performance lumínica de modelo de cozinha, com ou sem alterações construtivas, recorrentes em habitações unifamiliares de interesse social. Posteriormente, ao modelo de cozinha cujos resultados indicam maiores prejuízos lumínicos decorrentes da autoconstrução, inserem-se os modelos de tubos de luz natural que apresentam melhores performances na **Fase 1**. As simulações realizadas no software Tropix 8 verificam os índices de IULN (Iluminância Útil de Luz Natural), ALNe (Autonomia Espacial de Luz Natural), ESA (Exposição Solar Anual), EMA (Iluminância Média Anual), UMA (Uniformidade Média Anual) e Isocurvas. Dentre os modelos analisados destacam-se os resultados obtidos para “M5/F1[69°/1.2x0.2m/J]” e “M15/F1[69°/1.2x0.4m/J]”, ambos possuem comprimento de 1.2 m, com Joelho e mesma inclinação (69°). Uma maior dimensão da seção do tubo em “M15/F1[69°/1.2x0.4m/J]”, quando comparado com “M5/F1[69°/1.2x0.2m/J]”, contribuiu com o aumento dos valores de EMA em 38% à 128%, sendo esta alteração mais efetiva nos meses de inverno. As inserções destes modelos de tubos de luz natural ao modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo contíguos, atestam a capacidade destes sistemas de contribuir com uma melhor disponibilidade de luz natural no ambiente interno, assim como prevenir o decaimento da iluminância interna a níveis inferiores àqueles recomendados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), em casos em que ocorrem obstruções de aberturas convencionais decorrentes da autoconstrução.

**Palavras-chave:** Iluminação Natural; Tubo de Luz Natural; Autoconstrução; Desempenho luminoso.

## ABSTRACT

Daylight brings psychophysiological benefits to users and self-construction can interfere with the availability of this resource in environments. Thus, zenithal openings of the natural light pipes type can be adopted as a preventive strategy for the adequate availability of daylighting in social housing that can be self-construction. In this sense, this research aims to analyze the lighting performance of natural light pipes in the kitchen environment of a single-family housing of social interest. The methodology was divided into three phases, namely: in **Phase 1** (20 models) it was possible to analyze the availability of daylight in the internal environment, coming from natural light pipes, as well as the influence of the addition of elbow, variation of the inclination and increase in the length and dimension of the tube section. In **Phase 2** (5 models), based on a case study, the lighting performance of a kitchen model was analyzed, with or without construction changes, recurrent in single-family housing of social interest. Subsequently, the kitchen model whose results indicate greater lighting losses due to self-construction, the models of natural light pipes that present better performances in **Phase 1** are inserted. The simulations performed in the Tropix 8 software verify the indexes of UDI (Useful Daylight Illuminance), sDA (Spatial Daylight Autonomy), ASE (Annual Sunlight Exposure), EMA (Average Annual Illuminance), UR (Daylight Uniformity Ratio) and Isocurves. Among the models analyzed, the results obtained for “M5/F1[69°/1.2x0.2m/J]” and “M15/F1[69°/1.2x0.4m/J]” stand out, both have a length of 1.2 m, with elbow and the same inclination (69°). A larger dimension of the tube section in “M15/F1[69°/1.2x0.4m/J]”, when compared to “M5/F1[69°/1.2x0.2m/J]”, contributed to the increase in EMA values by 38% to 128%, with this change being more effective in the winter months. The insertion of these models of natural light pipes into the kitchen model with the addition of a garage and adjoining room attests to the ability of these systems to contribute to a better availability of daylight in the internal environment, as well as preventing the decay of internal illuminance to levels below those recommended by NBR 15575-1 (ABNT, 2013), in cases where obstructions of conventional openings occur due to self-construction.

**Keywords:** Daylighting; Natural Light pipes; Self-construction; Lighting performance.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Espectro visível da luz.

**Figura 2.** Síntese das cores.

**Figura 3.** Espectro visível da luz de diferentes fontes luminosas: luz natural proveniente de tubos de luz, céu claro e nublado (linha preta e azul pontilhada, respectivamente); luz LED (linha vermelha), luz fluorescente (linha verde).

**Figura 4.** Diferenças entre as reflexões difusa (**a**) e especular (**b**).

**Figura 5.** Diferenças entre Refrações em meio aquoso (**a**) e em vidro (**b**).

**Figura 6.** Composição da radiação solar.

**Figura 7.** Iluminação natural em estátua da deusa Sekhmet, templo de Karnak, Egito.

**Figura 8.** Entrada de luz natural através de óculo, Panteão Romano.

**Figura 9.** Feixe de luz conduzido em jato de água por reflexão interna total.

**Figura 10.** Refletores em fachadas, Londres 1915.

**Figura 11.** Anúncio de divulgação dos refletores de Chappuis.

**Figura 12.** Instalação da claraboia tubular SOLATUBE.

**Figura 13.** Modelo comercial de tubo de luz natural.

**Figura 14.** Componentes do tubo de luz natural: coletor passivo (**a**), tubo condutor (**b**), difusor (**c**).

**Figura 15.** Tubo de luz natural associado a um helióstato para rastreamento e desvio da luz.

**Figura 16** – Painel cortado a laser (LCP) parte (**a**) e alteração de trajetória da radiação solar através de LCP parte (**b**).

**Figura 17.** Reflexão interna total.

**Figura 18.** Refração convergente.

**Figura 19.** Gráfico sobre a qualidade da habitação a partir de auditoria realizada pelo Tribunal de Contas da União.

**Figura 20.** Organograma dos procedimentos metodológicos.

**Figura 21.** Software Troplux.

**Figura 22.** Loteamento COHAB, com circunscrição em vermelho das quadras de implantação das residências estudadas.

**Figura 23.** Implantação do conjunto habitacional COHAB (a) 2012 e (b) 2022.

**Figura 24.** Reformas e ampliações em conjunto habitacional de interesse social em Montanha – ES: a – execução de ponto comercial em fundo de lote; b – execução de garagem na lateral;

c – execução de segundo pavimento; d – execução de varanda lateral e cômodo contíguos à cozinha.

**Figura 25.** Acabamento interno de cozinha: **a** – acabamento de parede em cerâmica decorado e pintura sobre bloco de concreto; **b** – acabamento de parede em cerâmica clara e pintura sobre bloco de concreto; **c** – acabamento de parede em cerâmica, altura inferior a 1,5m e bloco de concreto aparente.

**Figura 26.** Acabamento interno de banheiro: **a** – acabamento de parede em cerâmica clara, forro em PVC, piso cerâmico claro; **b** – acabamento de parede em cerâmica clara, pintura sobre bloco de concreto, piso cerâmico claro e forro em PVC; **c** – acabamento de parede em cerâmica clara, sem forro, piso em cimento queimado.

**Figura 27.** Acabamento interno de sala: **a** – pintura sobre bloco de concreto, forro em PVC, piso cerâmico claro; **b** – pintura sobre bloco de concreto, piso cerâmico claro e forro em PVC; **c** – bloco de concreto aparente, sem forro, piso em cimento queimado.

**Figura 28.** Ausência de calçada no entorno das edificações e sinas de umidade ascendente em (a), (b) e (c).

**Figura 29.** Recorte de planta baixa e corte de projeto de ambiente de cozinha de HIS.

**Figura 30.** Distribuição de HIS executadas e previstas no estado do Espírito Santo.

**Figura 31.** Planta baixa ambientada de cozinha, com mobiliário mínimo e dimensões adotadas.

**Figura 32.** Modelo de tubo de luz natural e seus componentes.

**Figura 33.** Trajetória solar aparente: solstícios de verão (**a**) e inverno (**b**); equinócios de outono (**c**) e primavera (**d**).

**Figura 34.** Malha ortogonal de 20 pontos para medição da iluminância.

**Figura 35.** Síntese do procedimento metodológico Fase 1.

**Figura 36.** Vista externa (a) e (b) indicadas e planta baixa de habitação de interesse social (c), adotada no Espírito Santo, com destaque para o ambiente de cozinha.

**Figura 37.** Malha ortogonal de 20 pontos para medição da iluminância.

**Figura 38.** Síntese do procedimento metodológico Fase 2.

**Figura 47** – Síntese do procedimento metodológico Fase 3.

## LISTA DE SIGLAS

<b>Nm</b>	Nanômetro
<b>IRC</b>	Índice de Reprodução de Cores
<b>CIE</b>	Commission International del'Eclairage
<b>ISSO</b>	International Organization for Standardization
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>E</b>	Iluminância
<b>Em</b>	Iluminância média
<b>L</b>	Luminância
<b>lx</b>	Lux
<b>lm</b>	Lúmen
<b>cd</b>	Candela
<b>UGR</b>	Índice de Ofuscamento Unificado
<b>ipRGCs</b>	Células Ganglionares da Retina Intrinsecamente Fotossensíveis
<b>EPE</b>	Empresa de Pesquisa Energética
<b>LCP</b>	Laser Cut Panels
<b>HIS</b>	Habitações de Interesse Social
<b>DDL</b>	Céu com Distribuição Dinâmica de Luminâncias
<b>MATLAB</b>	Matrix Laboratory

## LISTA DE QUADROS

**Quadro 1.** Dimensões mínimas para Códigos de Obras das capitais da Região Sudeste do Brasil.

**Quadro 2.** Dimensões mínimas para mobiliário de cozinha segundo a NBR 15575-1.

**Quadro 3.** Características das habitações analisadas em estudo de caso, observadas em memorial (Pitanga, 2012) e constatadas em projeto arquitetônico COHAB (2006).

**Quadro 4.** Características de tubos de luz natural disponibilizados no mercado.

**Quadro 5.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 1.

**Quadro 6.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 2.

**Quadro 7.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 3.

**Quadro 8.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 4.

**Quadro 9.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 5.

**Quadro 10.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 6.

**Quadro 11.** Valores máximos de Refletância segundo a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

**Quadro 12.** Descrição das esquadrias da cozinha e WWR (*Window to Wall Ratio*).

**Quadro 13.** Modelos para simulações: cozinha (em laranja) e os acréscimos (em azul).

**Quadro 14.** Modelos para simulações: tubos de luz natural Fase 1, inseridos em cozinha com acréscimo de garagem e cômodo contíguos do Grupo 7, da Fase 2.

**Quadro 15.** Refletâncias adotadas para superfícies dos modelos.

**Quadro 16.** Ranking das performances a partir dos valores de EMA para G1, G2 e G3.

**Quadro 17.** Ranking das performances a partir dos valores de EMA para G4, G5 e G6.

**Quadro 18.** Trajetória da luz solar direta em solstício de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 1.

**Quadro 19.** Trajetória da luz solar direta em equinócio de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 1.

**Quadro 20.** Trajetória da luz solar direta em solstício de verão, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 1.

**Quadro 21.** Trajetória da luz solar direta em solstício de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 2.

**Quadro 22.** Trajetória da luz solar direta em equinócio de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 2.

**Quadro 23.** Trajetória da luz solar direta em solstício de verão, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 2.

**Quadro 24.** Trajetória da luz solar direta em solstícios e equinócios, para altura solar às 12:00 horas de tubo de luz natural horizontal, modelos Grupo 3.

**Quadro 25.** Trajetória da luz solar direta em solstício de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 3.

**Quadro 26.** Trajetória da luz solar direta em equinócio de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 3.

**Quadro 27.** Trajetória da luz solar direta em solstício de verão, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 3.

**Quadro 28.** Trajetória da luz solar direta em solstício de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 4.

**Quadro 29.** Trajetória da luz solar direta em equinócio de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 4.

**Quadro 30.** Trajetória da luz solar direta em solstício de verão, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 4.

**Quadro 31.** Trajetória da luz solar direta em solstício de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 5.

**Quadro 32.** Trajetória da luz solar direta em equinócio de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 5.

**Quadro 33.** Trajetória da luz solar direta em solstício de verão, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 5.

**Quadro 34.** Trajetória da luz solar direta em solstícios e equinócios, para altura solar às 12:00 horas de tubo de luz natural horizontal, modelos Grupo 6.

**Quadro 35.** Trajetória da luz solar direta em solstício de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 6.

**Quadro 36.** Trajetória da luz solar direta em equinócio de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 6.

**Quadro 37.** Trajetória da luz solar direta em solstício de verão, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 6.

**Quadro 38.** Isocurvas dos modelos **M5/F1[69°/ 1.2x0.2m/J]** e **M6/F1[103°/ 1.2x0.2m/J]**, por estações do ano.

**Quadro 39.** Isocurvas dos modelos **M5/F1[69°/ 1.2x0.2m/J]** e **M6/F1[103°/ 1.2x0.2m/J]**, por estações do ano.

**Quadro 40.** Isocurvas dos modelos **M13/F1[103°/ 1.2x0.4m]** e **M15/F1[69°/ 1.2x0.4m/J]**, por estações do ano.

**Quadro 41.** Isocurvas dos modelos **M13/F1[103°/ 1.2x0.4m]** e **M15/F1[69°/ 1.2x0.4m/J]**, por estações do ano.

**Quadro 42.** Modelos de investigação para simulações: dois modelos com o dobro de tubos de luz natural Fase 1, provenientes do Grupo 2 e Grupo 3.

**Quadro 43.** Síntese dos resultados gerais e para as variáveis: inclinação, joelho, comprimento, dimensão de seção.

**Quadro 44.** Isocurvas do modelo **M23/F2[G+C] | L**, por estações do ano.

**Quadro 45.** Isocurvas do modelo **M24/F2[G+C+M5]**, por estações do ano.

**Quadro 46.** Isocurvas do modelo **M25/F2[G+C+M15]**, por estações do ano.

**Quadro 47.** Equivalência entre tubo de luz natural e fonte artificial de iluminação a partir do fluxo luminoso.

**Quadro 48.** Síntese dos resultados gerais quanto aos impactos da autoconstrução e inserção de tubos de luz natural.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 60lx, para G1, G2 e G3.

**Tabela 2.** Percentuais de ALNe sob nível intermediário de 90lx, para G1, G2 e G3.

**Tabela 3.** Percentuais de ALNe sob nível superior de 120lx, para G1, G2 e G3.

**Tabela 4.** Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 60lx, para G4, G5 e G6.

**Tabela 5.** Percentuais de ALNe sob nível intermediário de 90lx, para G4, G5 e G6.

**Tabela 6.** Percentuais de ALNe sob nível superior de 120lx, para G4, G5 e G6.

**Tabela 7.** Percentuais de Iluminância Média Anual (EMA) para os Grupos G1, G2 e G3.

**Tabela 8.** Percentuais de Iluminância Média Anual (EMA) para os grupos G4, G5 e G6.

**Tabela 9.** Percentuais de Iluminância Média Anual (EMA), para modelos de investigação e modelos comparativos de maior dimensão de seção.

**Tabela 10.** Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 60lx para modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo e modelos do grupo 8.

**Tabela 11.** Percentuais de ALNe sob nível intermediário de 90lx para modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo e modelos do grupo 8.

**Tabela 12.** Percentuais de ALNe sob nível superior de 120lx para modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo e modelos do grupo 8.

**Tabela 13.** Percentuais de Iluminância Média Anual (EMA), para modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo e modelos do grupo 8.

## LISTA DE GRÁFICOS

**Gráfico 1.** Percentuais anuais de IULN para as faixas  $E < 100$ ,  $100 < E < 300$ ,  $300 < E < 3000$  e  $E > 3000$ , para os modelos dos Grupos 1, 2 e 3.

**Gráfico 2.** Percentuais mensais de IULN, faixa útil  $100lx \leq E \leq 3000lx$ , para três modelos do Grupo 01.

**Gráfico 3.** Percentuais mensais de IULN, faixa útil  $100lx \leq E \leq 3000lx$ , para três modelos do Grupo 02.

**Gráfico 4.** Percentuais mensais de IULN, faixa útil  $100lx \leq E \leq 3000lx$ , para quatro modelos do Grupo 03.

**Gráfico 5.** Percentuais anuais de IULN para as faixas  $E < 100$ ,  $100 < E < 300$ ,  $300 < E < 3000$  e  $E > 3000$ , para os modelos dos grupos 4, 5 e 6.

**Gráfico 6.** Percentuais anuais de UMA para modelos dos grupos G1, G2 e G3.

**Gráfico 7.** Percentuais anuais de UMA para modelos dos grupos G4, G5 e G6.

**Gráfico 8.** Percentuais de uniformidade (UMA), para modelos de investigação e modelos comparativos de maior dimensão de seção.

**Gráfico 9.** Percentual Mensal de IULN para M21/F2[S], M22/F2[G] e M23/F2[G+C], Faixa útil  $100lx \leq E \leq 3000lx$ .

**Gráfico 10.** Percentual Mensal de IULN para M21/F2[S], M22/F2[G] e M23/F2[G+C], Faixa excessiva  $E > 3000lx$ .

**Gráfico 11.** Percentual de ESA para M21/F2[S]

**Gráfico 12.** Percentuais anuais de UMA para cinco modelos da Fase 2.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	18
1.2 OBJETIVOS.....	18
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	18
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1 ASPECTOS PERCEPTIVOS E FÍSICOS DA LUZ.....	20
2.2 BENEFÍCIOS DA LUZ NATURAL PARA O HOMEM E DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO.....	27
2.3 ESTRATÉGIAS DO HOMEM PARA A CONDUÇÃO DA LUZ .....	28
2.4 TUBOS DE LUZ NATURAL.....	32
2.5 DESAFIOS PARA O BOM DESEMPENHO LUMÍNICO EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL .....	37
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>41</b>
3.1 TROPLUX PARA SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE DESEMPENHO LUMÍNICO.....	44
3.2 ESTUDO DE CASO: AMBIENTE DE EXPERIMENTAÇÃO .....	45
3.3 FASE 1: ESTUDO PILOTO .....	51
<b>3.3.1 Levantamento e Definição do Ambiente de Cozinha .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.2 Levantamento e Definição do Tubo de Luz Natural .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3.3 Características dos Modelos Fase 1 e Suas Variações .....</b>	<b>57</b>
<b>3.3.4 Parâmetros das Simulações .....</b>	<b>64</b>
<b>3.3.5 Parâmetros para Análise dos Resultados.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3.6 Síntese Fase 1 .....</b>	<b>67</b>
3.4 FASE 2: VALIDAÇÃO DA PESQUISA .....	67
<b>3.4.1 Levantamento e Definição do Ambiente de Cozinha .....</b>	<b>68</b>
<b>3.4.2 Características dos Modelos Fase 2 e Suas Variações .....</b>	<b>69</b>
<b>3.4.3 Parâmetros das Simulações .....</b>	<b>70</b>
<b>3.4.4 Parâmetros para Análise dos Resultados.....</b>	<b>72</b>
<b>3.4.5 Síntese Fase 2 .....</b>	<b>73</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>74</b>
4.1 ANÁLISE FASE 01 .....	75

<b>4.1.1 Análises e Resultados IULN</b> .....	<b>75</b>
<b>4.1.2 Análises e Resultados ALNe</b> .....	<b>79</b>
<b>4.1.3 Análises e Resultados UMA</b> .....	<b>84</b>
<b>4.1.4 Análises e Resultados EMA</b> .....	<b>86</b>
<b>4.1.5 Análises e Resultados ESA</b> .....	<b>92</b>
<b>4.1.6 Análises e Resultados Isocurvas</b> .....	<b>103</b>
<b>4.1.7 Investigação</b> .....	<b>107</b>
<b>4.1.8 Síntese dos Resultados Fase 1</b> .....	<b>109</b>
<b>4.2 ANÁLISE FASE 02</b> .....	<b>110</b>
<b>4.2.1 Análises e Resultados IULN</b> .....	<b>111</b>
<b>4.2.2 Análises e Resultados ESA</b> .....	<b>113</b>
<b>4.2.3 Análises e Resultados UMA</b> .....	<b>113</b>
<b>4.2.4 Análises e Resultados ALNe</b> .....	<b>115</b>
<b>4.2.5 Análises e Resultados EMA</b> .....	<b>117</b>
<b>4.2.6 Análises e Resultados Isocurvas</b> .....	<b>117</b>
<b>4.2.7 Investigação</b> .....	<b>120</b>
<b>4.2.8 Síntese dos Resultados Fase 2</b> .....	<b>121</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>122</b>
<b>5.1 CONCLUSÕES DA FASE 01</b> .....	<b>123</b>
<b>5.2 CONCLUSÕES DA FASE 02</b> .....	<b>125</b>
<b>5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>126</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>128</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>136</b>
<b>APÊNDICE 1 – ARTIGO PUBLICADO EM ANAIS ENCAC/ELACAC 2023</b> .....	<b>137</b>
<b>APÊNDICE 2 – ARTIGO EM ANAIS DO 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA 2022</b> .....	<b>149</b>

1.1 Justificativa

1.2 Objetivos

1.3 Estrutura da Dissertação

# 1

## INTRODUÇÃO

## 1 INTRODUÇÃO

A Pesquisa Datafolha, contratada pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (2022), aponta que 50% da população brasileira economicamente ativa, realizou reforma ou construção. A pesquisa acrescenta ainda que desta parcela da população, apenas 9% contratam assistência técnica especializada, onde 49% dos pesquisados pontuaram o motivo financeiro como a principal causa para não contratar um profissional. Dados como estes conduzem a reflexões no que diz respeito à qualidade da moradia brasileira, como exemplo, prejuízos no ganho de iluminação natural para os ambientes internos. Isto é sobretudo observado em moradias de famílias em vulnerabilidade socioeconômica, que geralmente recorrem à autoconstrução, favorecendo a precariedade da habitação, fator que compõe o cálculo do déficit habitacional no Brasil, segundo Ministério do Desenvolvimento Regional (Brasil, 2022).

A iluminação natural é um relevante aspecto a ser considerado em projetos de Arquitetura e Urbanismo. Além da sua conhecida importância relacionada a eficiência energética, possibilidade de realização das tarefas e visão, diversas são as pesquisas que evidenciam os benefícios da iluminação natural para o bem-estar, dentre eles os psicofisiológicos (WIRZ-JUSTICE, *et al.*, 2021; KNOOP, *et al.*, 2020; MÜNCH, *et al.*, 2020). Assim também, ambientes internos precisam admitir a luz natural para a realização das atividades cotidianas e redução do gasto com energia elétrica proveniente da iluminação artificial.

Apesar de normas, como a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), apontarem a necessidade do aproveitamento da luz natural constatam-se exemplos de habitações populares inadequadas, neste sentido, observa-se uma controversa falta de qualidade das moradias, fruto das políticas públicas habitacionais, que visam amenizar o déficit habitacional (Brasil, 2018). Nesse sentido Bortoli *et al.* (2020) alertam que a autoconstrução em habitações de interesse social é uma iniciativa que busca por melhor qualidade de vida, entretanto, pode ter efeitos negativos quando não há assistência técnica. Neste sentido, o contato com a luz natural se dá, boa parte das vezes, por aberturas laterais que precisam ser adequadamente projetadas, entretanto, a autoconstrução pode ocasionar obstruções que prejudiquem a disponibilidade deste recurso no ambiente interno (Capeluto, 2002). Diante do exposto questiona-se: As aberturas zenitais são alternativas preventivas adequadas à boa disponibilidade interna de iluminação natural, quando há sobreposições às aberturas laterais em casos de autoconstrução?

Tendo em vista as questões tratadas anteriormente, esta pesquisa de levantamento e experimental, tem por objetivo analisar a performance lumínica de tubos de luz natural em ambiente de cozinha de habitação unifamiliar de interesse social, em Vitória – ES.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A luz natural traz benefícios psicofisiológicos para o usuário (WIRZ-JUSTICE, *et al.*, 2021; KNOOP, *et al.*, 2020; MÜNCH, *et al.*, 2020) e a autoconstrução pode interferir no ganho lumínico dos ambientes internos, com conseqüente prejuízo do desempenho lumínico da edificação (Bortoli *et al.*, 2020; Santos e Laranja, 2022), um dos requisitos para habitabilidade. Desta forma, o estudo de sistemas de iluminação natural não convencionais, em clima tropical úmido, como os tubos de luz natural, é importante enquanto proposta de solução para uma melhor resiliência da habitação.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a performance lumínica de tubos de luz natural em ambiente de habitação unifamiliar de interesse social.

A pesquisa também possui os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a influência do comprimento e da inclinação do tubo, adição de joelho ao sistema, como também a influência de diferentes dimensões da seção do tubo na disponibilidade de luz natural no ambiente interno;
- Diagnosticar a influência da autoconstrução na disponibilidade de luz natural no ambiente interno;
- Demonstrar a utilização de tubos de luz natural como prática que assegure a resiliência da habitação de interesse social.

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação se organizará em cinco capítulos, conforme descrito abaixo:

O **Capítulo 1** contempla a introdução da pesquisa, apresentando o problema, justificativa, objetivos gerais, objetivos específicos e estrutura do trabalho.

O **Capítulo 2** fornece bases para a discussão, a partir da explanação dos temas: aspectos perceptivos e físicos da luz; benefícios da luz natural para o homem e desempenho da edificação; estratégias do homem para a condução da luz; tubos de luz natural; desafios para o bom desempenho lumínico em habitações de interesse social.

O **Capítulo 3** apresenta os procedimentos metodológicos, descrevendo sua estrutura, modelos e parâmetros para as simulações a partir de software, como também os parâmetros para análise dos resultados.

O **Capítulo 4** traz as discussões e análises dos resultados obtidos, com o fim de entender o comportamento da iluminação natural frente a autoconstrução e inserção de dutos de luz.

O **Capítulo 5** relata as considerações finais, apontando as contribuições da pesquisa, lacunas e possíveis trabalhos futuros.

Por fim apresentam-se as referências utilizadas ao longo da pesquisa e os apêndices.

# 2

## REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos Perceptivos e Físicos da Luz

2.2 Benefícios da Luz Natural para o Homem e Desempenho da edificação

2.3 Estratégias do Homem para a Condução da Luz

2.4 Tubos de Luz Natural

2.5 Desafios para o Bom Desempenho Lumínico em Habitações de Interesse Social

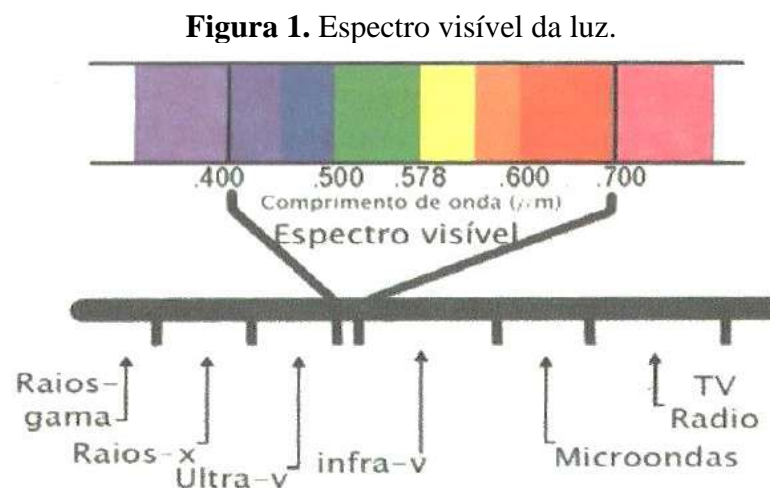
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados temas de relevância na construção do embasamento teórico desta pesquisa. Inicialmente serão discutidos temas relacionados aos aspectos físicos e perceptivos da luz, benefícios da luz natural para o ser humano e desempenho da edificação. Em seguida serão abordadas as aberturas zenitais do tipo tubo de luz natural e questões sobre a autoconstrução em habitações de interesse social e a sua relação com a disponibilidade da iluminação natural.

### 2.1 ASPECTOS PERCEPTIVOS E FÍSICOS DA LUZ

A visão corresponde a 85% da percepção do homem, no qual o desempenho visual depende da disponibilidade adequada de luz para que a execução das atividades aconteça de forma correta e confortável (Lima, 2010; Knoop *et al.*, 2020).

A luz visível ao homem é um tipo de radiação eletromagnética, cujo espectro perceptível possui frequências que variam entre 400 e 700 nm (nanômetro), como pode ser observado na **Figura 1** (Lima, 2010; Boyce, 2014). Os autores acrescentam ainda que dentro deste intervalo, o espectro visível divide-se em faixas, ou comprimentos de ondas, correspondentes às cores: violeta, azul, verde, amarelo, alaranjado e vermelho.

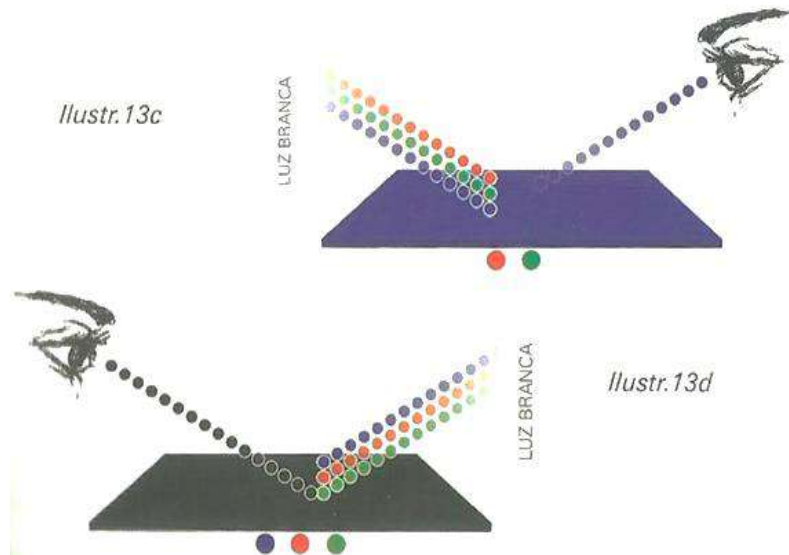


Fonte: Lima (2010), p. 4.

A espectro visível, que compreende todas as faixas de frequências apresentadas anteriormente, permite a visualização dos objetos e cores quando incide sobre as superfícies. A

síntese das cores ocorre quando há absorção e reflexão da luz, conforme ilustrado na **Figura 2** (Pedrosa, 2012; Hewitt, 2015).

**Figura 2.** Síntese das cores.

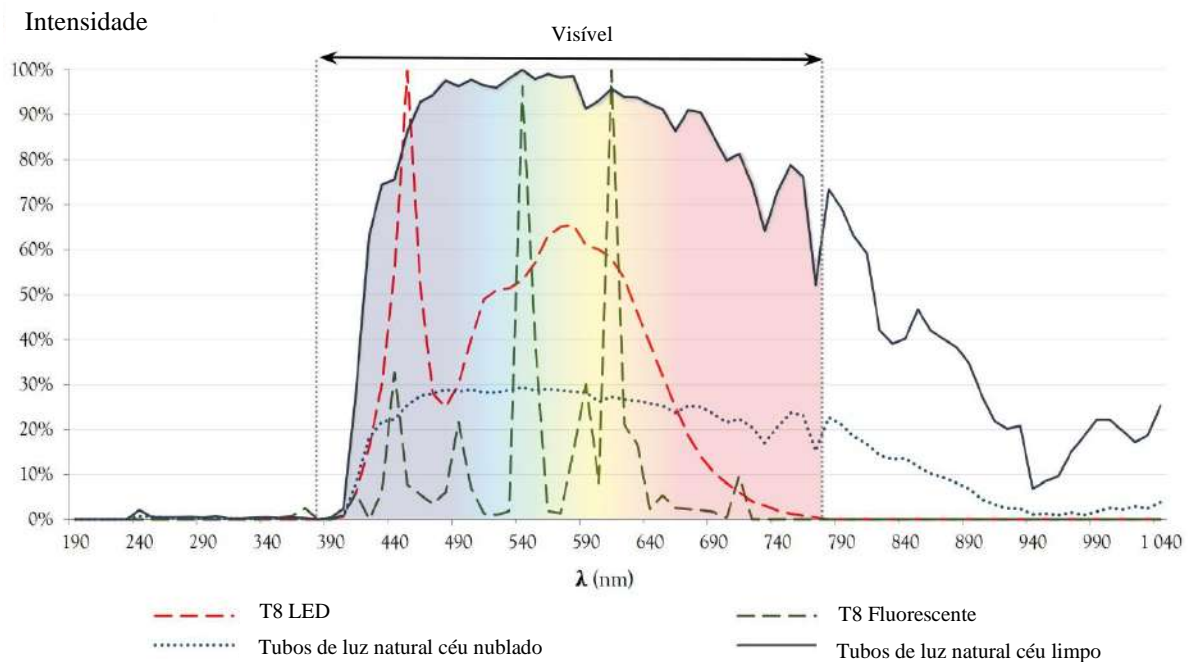


Fonte: Pedrosa (2012), p.31.

A síntese da cor de um objeto, portanto, corresponde ao comprimento de onda percebido pela visão após ser refletido por uma superfície, como exemplo: um objeto é azul quando reflete a frequência correspondente a esta cor e absorve as demais; um objeto é preto quando não reflete a maior parte das frequências do espectro visível; um objeto é branco quando sua superfície reflete a maior parte das frequências do espectro visível (Pedrosa, 2012; Hewitt, 2015).

As cores são melhor percebidas sob a luz proveniente do sol, visto que a luz produzida por algumas fontes artificiais pode possuir uma variação acentuada da intensidade dos comprimentos de onda, alterando desta forma a percepção correta da cor. Esta afirmativa pode ser exemplificada na **Figura 3**, onde é possível observar o espectro da luz visível produzida por algumas fontes luminosas (Pedrosa, 2012; Hewitt, 2015; Malet-Damour *et al.*, 2022). É possível observar a diferença entre os espectros das luzes de fontes artificiais e naturais. Nota-se também que mesmo após a captação e condução da luz natural, sob diferentes tipos de céu, por meio de dispositivos como o tubo de luz natural, o espectro luminoso é conservado, apesar da diminuição de sua intensidade.

**Figura 3.** Espectro visível da luz de diferentes fontes luminosas: luz natural proveniente de tubos de luz, céu claro e nublado (linha preta e azul pontilhada, respectivamente); luz LED (linha vermelha), luz fluorescente (linha verde).



Fonte: Malet-Damour *et al.* (2022)

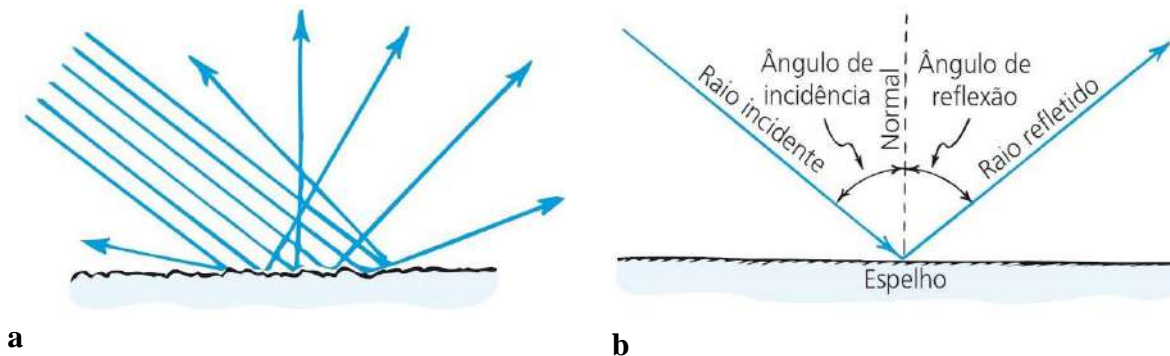
Ademais o espectro da luz natural é definido como parâmetro para o Índice de Reprodução de Cores (IRC), definido pela Commission International del'Eclairage (CIE), que mede a capacidade de uma fonte de luz reproduzir de forma precisa as cores. Este índice possui valor máximo de 100 ( $R_a = 100$ ) e diminui conforme a redução da qualidade de reprodução de cor (Elkalashy *et al.*, 2023). A ABNT (2013), NBR ISSO/CIE 8995-1, salienta a importância da reprodução correta e natural das cores de forma a garantir conforto e bem-estar, também não recomenda valores inferiores a  $R_a$  80 em locais de trabalho e de longa permanência e recomenda valores mínimos para diferentes tipos de ambientes.

A relação entre cor e luz também pode influenciar a disponibilidade da luz natural no ambiente interno. Okimoto *et al.* (2008), em suas investigações sobre a influência da cor de paredes e layout no aproveitamento da luz natural, concluem que principalmente a cor branca, quando aplicada em superfícies internas, pode potencializar a iluminância. Por outro lado, Fonseca *et al.* (2010), ao investigarem a contribuição das reflexões no ambiente interno, sugerem o uso da cor branca em paredes mais afastadas das aberturas, já o uso de cores claras, de refletâncias intermediárias, são preferíveis em paredes próximas às aberturas, com vistas a tornar a distribuição da luz mais uniforme. Também, Laranja *et al.* (2016) apontam que

alterações das refletâncias de superfícies internas trazem pequenas melhorias da iluminância, principalmente nas áreas próximas às aberturas.

Ainda sobre aspectos físicos da luz, podem ser citadas características físicas que influenciam na sua propagação, como a reflexão e refração. A reflexão é o processo de reemissão da luz que incide sobre a superfície de um material, tornando-o visível. Segundo a lei da reflexão, o ângulo do raio de luz incidente é sempre igual ao ângulo do raio de luz refletido (Hewitt, 2015). A reflexão é percebida de forma diferente em superfícies rugosas e polidas. As superfícies rugosas refletem os raios incidentes em diferentes direções, por apresentarem minúsculas irregularidades. Por outro lado, superfícies polidas possuem reflexão mais uniforme, como exemplo a ocorrência de reflexão especular em espelhos. Reflexão difusa e especular são ilustradas na **Figura 4** (Hewitt, 2015).

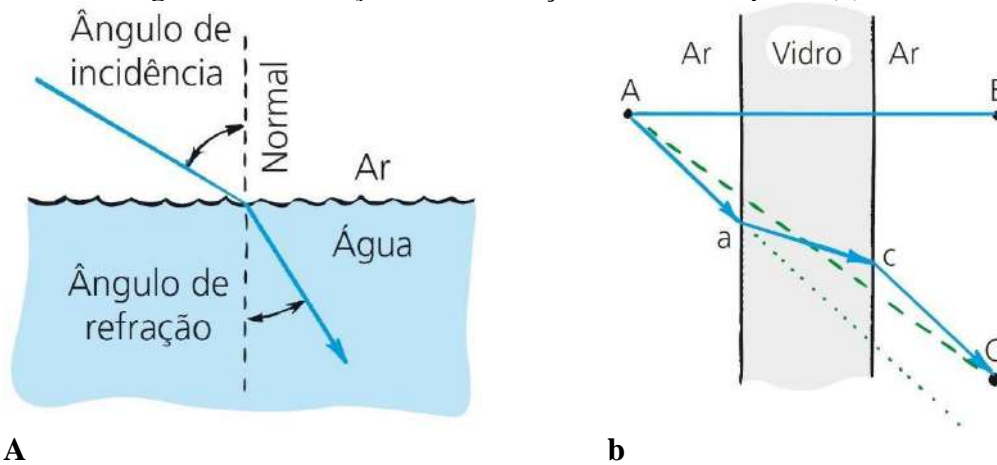
**Figura 4.** Diferenças entre as reflexões difusa (a) e especular (b).



Fonte: Hewitt (2015), p. 521 e 523

No que diz respeito à refração, ela se caracteriza pelo desvio de direção sofrido pelo raio luminoso ao atravessar de um meio para outro. A luz, que no vácuo se propaga a 300.000 km/s, ao atravessar um vidro, água, diamante, dentre outros materiais translúcidos, perde velocidade, assim como ocorre alteração de sua trajetória, como exemplificado na **Figura 5**. O fenômeno da refração ocorre sempre que a luz sofrer alteração de sua velocidade ao passar em um meio translúcido (Hewitt, 2015).

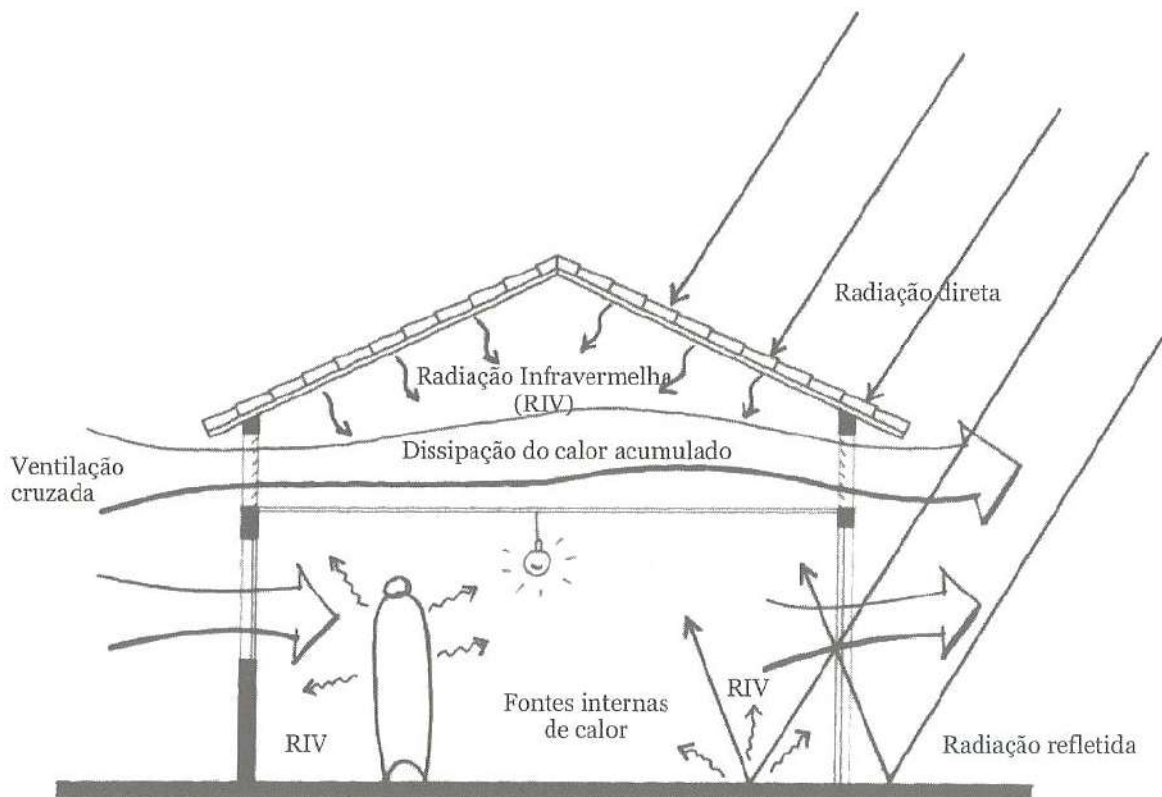
**Figura 5.** Diferenças entre Refrações em meio aquoso (a) e em vidro (b).



Fonte: Hewitt (2015), p. 525 e 524

Sabendo dos princípios de reflexão e refração, a qualidade da iluminação natural de um ambiente dependerá da composição da luz, a qual possui parcela de luz direta e parcela de luz indireta, quando esta é refletida por superfícies internas e externas, como mostra a **Figura 6**.

**Figura 6.** Composição da radiação solar.



Fonte: Corbella e Corner (2011), p.25

O bom aproveitamento da luz natural, que garanta adequada acuidade visual, também dependerá da observação de grandezas fotométricas tais como: fluxo luminoso ( $\Phi$ ), iluminância (E), luminância (L), uniformidade e ofuscamento. Estas grandezas podem ser definidas:

**Fluxo luminoso:** é a radiação eletromagnética total emitida por uma fonte, compreendida entre os limites do espectro visível e medida em lúmen (lm) (OSRAM, [201-?]).

**Iluminância:** fluxo luminoso proveniente de uma fonte de luz, distribuído no plano de trabalho, expressa em lux (lx), cuja equação que expressa esta grandeza é  $E = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$ . A iluminância pode ser medida com o auxílio de um luxímetro, sendo que o plano de medição, quando não definido, deve estar a 0,75m do piso. Sabendo que o fluxo luminoso não se distribui uniformemente, para determinar a iluminância de um ambiente deve ser considerada a iluminância média ( $E_m$ ). A iluminância será maior conforme o nível de acuidade visual exigido por determinada tarefa, desta forma, a NBR ISSO/CIE 8995-1 define níveis de iluminância proveniente de fonte de luz artificial, para ambientes onde são realizadas atividades comerciais, industriais, esportivas, de ensino e outras. Também estabelece o método de verificação da iluminância em interiores a partir da iluminância média proveniente de uma fonte de iluminação geral (ABNT, 2013; OSRAM, [201-?]).

**Luminância:** é a medida da intensidade do brilho de uma superfície, quando esta transmite a sensação de claridade aos olhos. Uma mesma iluminância pode dar origem a luminâncias diferentes, dependendo do coeficiente de reflexão da superfície. Para o cálculo da iluminância pode-se recorrer às equações:  $L = \frac{I}{A \cdot \cos\alpha}$  ou  $L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$  (OSRAM, [201-?]).

**Uniformidade:** é dada pela razão entre o valor de iluminância mínima e média medida no ambiente de tarefas. Os valores obtidos não podem ser inferiores a 0,7 no plano de trabalho e 0,5 no entorno imediato (ABNT, 2013).

**Ofuscamento:** fadiga óptica causada por alto contraste ou luminância excessiva que prejudica ver com clareza os objetos, podendo ocasionar erros, fadiga e acidentes. O ofuscamento pode ser direto (fontes brilhantes intensas no campo visual), e ofuscamento reflexivo (reflexão da luz no plano de trabalho ou por superfícies especulares, direcionada para o campo visual). A NBR ISSO/CIE 8995-1 indica evitar o ofuscamento por meio de proteções à visualização direta de lâmpadas e anteparos nas janelas. A norma também estabelece limites segundo o Índice de Ofuscamento Unificado (UGR) para diferentes ambientes (ABNT, 2013; OSRAM, [201-?]).

Diante do exposto, compreende-se que a iluminação natural é preferível em ambientes internos e pode ser potencializada pelo uso de cores adequadas em superfícies internas e externas. Outrossim, é importante tirar partido das parcelas que compõem a luz, como também das propriedades físicas de reflexão e refração em sistemas que busquem o melhor desempenho lumínico de ambientes internos, como os tubos de luz natural, objeto de investigação desta pesquisa. Tais iniciativas podem beneficiar o ambiente com valores adequados de iluminância, menor ofuscamento e maior uniformidade.

## 2.2 BENEFÍCIOS DA LUZ NATURAL PARA O HOMEM E DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO

Diversos autores concordam que a iluminação natural é melhor para o homem, visto que ele está mais bem ambientado a ela, o que proporciona melhor conforto visual e bem-estar (Corbella e Yannas, 2009; Knoop *et al.*, 2020). Observa-se também que a luz natural é dinâmica, na qual sua cor, intensidade, direção, difusão, alteram-se ao longo do dia e de acordo com as condições meteorológicas (Boyce, 2014; Mehrotra, *et al.*, 2015; Knoop *et al.*, 2020; Hourani *et al.*, 2012). Neste sentido, Hourani *et al.* (2012) e Ozorhona *et al.* (2014), apontam que a característica dinâmica da luz natural atribui qualidade ao espaço arquitetônico, visto que produz efeitos estéticos e psicológicos positivos.

Alguns estímulos não visuais também são provocados pelo contato com a luz natural, como aqueles mediados por um conjunto de células fotossensíveis presentes na retina do olho, as ipRGCs (células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis). Estas células integram, dentre outros sistemas, o circadiano ligado ao sono e estado de alerta, além daquele responsável pela cognição e motivação (Wirz-Justice *et al.*, 2021). A interrupção do ciclo circadiano natural pode interferir nos ciclos biológicos (Wams *et al.*, 2017; Münch, *et al.*, 2020). Depner *et al.* (2019) acrescentam que alterações no ciclo circadiano podem provocar ainda o aumento do estresse e mudanças de hábitos que potencializam o aparecimento de doenças crônicas.

Além do conforto visual e efeitos psicofisiológicos da luz natural, é relevante abordar também os benefícios do aproveitamento adequado deste recurso com vistas a eficiência energética da edificação, já que ele é gratuito e renovável, podendo impactar diretamente na redução dos gastos com energia elétrica para iluminação, carga para aquecimento e resfriamento em diversos setores (Knoop *et al.*, 2020).

Neste sentido, segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2024), o setor residencial possui maior número de unidades consumidoras de energia elétrica do país, cerca de 87,6% do total de unidades, sendo responsável pela parcela de 31% do consumo deste recurso, tendo por base o ano de 2023. Além disto, a demanda elétrica para residências no primeiro trimestre de 2024 aumentou 12,3%, em relação primeiro trimestre 2023,

estando entre os fatores os programas habitacionais e incentivos contra o déficit habitacional (EPE, 2022). Outra constatação é que a distribuição da eletricidade por uso final na residência tem se modificado, o consumo para iluminação está diminuindo (Lamberts, 2014). Apesar disto, EPE (2022) adverte que mesmo que o aumento da demanda de energia seja proveniente do consumo destinado a equipamentos elétricos, eletrônicos e de climatização, o consumo de energia destinado às lâmpadas, mesmo que estas sejam mais eficientes, ainda representa de 14% a 8% do consumo de energia.

Nesta perspectiva, com vistas as demandas por energia elétrica, o estudo da iluminação natural no campo da arquitetura também é de grande importância para eficiência energética, sendo possível, em bons projetos, tirar partido da luz e calor provenientes deste recurso (Lamberts, 2014). A ABNT (2013), NBR 15575-1, que faz uma abordagem acerca do desempenho de edificações habitacionais, acrescenta ainda que uma iluminação natural conveniente pode ser obtida com adequado projeto arquitetônico que observe: orientação geográfica da construção, acurada medida e posição de aberturas, adequada refletância de parede, piso e teto e inserção de outros elementos construtivos como domo e poço de iluminação, dentre outros.

Diante dos temas abordados, justifica-se o aproveitamento adequado da luz natural, seja por seus benefícios psicofisiológicos, como também o seu potencial econômico, visto que é um recurso renovável e abundante, sobretudo em regiões de clima tropical úmido. Para isto faz-se necessário o estudo e experimentação de sistemas não convencionais de iluminação, a fim de melhorar a qualidade lumínica de espaços onde a luz natural não chega, ambientes pouco iluminados e/ou profundos.

### 2.3 ESTRATÉGIAS DO HOMEM PARA A CONDUÇÃO DA LUZ

O uso de aberturas não convencionais para a condução da luz para a iluminação de ambientes internos não é recente. Acredita-se que a civilização egípcia utilizava espelhos de prata para a condução da luz para quartos e corredores (Malet-Damour *et al.*, 2015; Dabija,

2018), também, para criar uma atmosfera mística, os templos egípcios geralmente possuíam aberturas zenitais que como holofotes, iluminavam alguma estátua, como pode ser observado na **Figura 7**.

**Figura 7.** Iluminação natural em estátua da deusa Sekhmet, templo de Karnak, Egito.



Fonte: Ruiz, acesso em 2024

Os romanos também utilizaram aberturas não convencionais para a iluminação de espaços internos, como pode ser observado no Panteão Romano, **Figura 8**, construído no reinado de Adriano, 120 d.c, o qual possui um óculo, abertura zenital que permite a entrada da luz solar (Dabija, 2018).

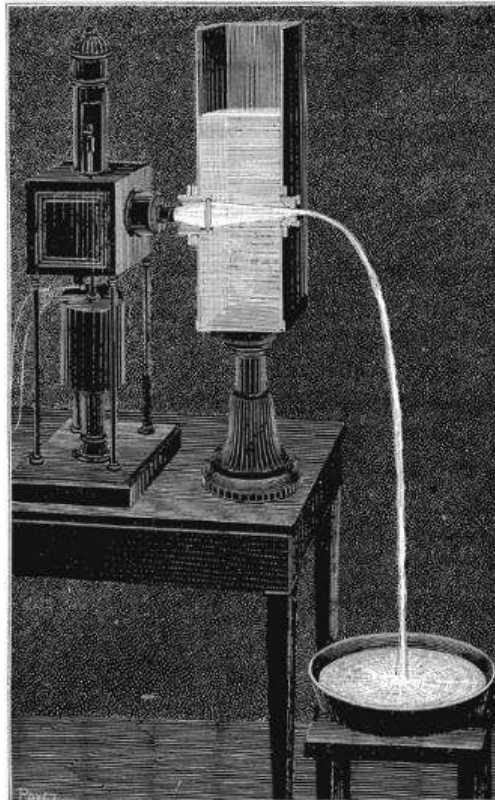
**Figura 8.** Entrada de luz natural através de óculo, Panteão Romano.



Fonte: ArchDaily, acesso em 2024

Outro método de condução da luz foi explorado em 1841 por Jean-Daniel Colladon, semelhante a ilustração **Figura 9**. O cientista concentrou um feixe de luz por meio de uma lente convexa em um tanque de água, cujo recipiente possuía uma bica por onde fluía o líquido. Como resultado, a luz era conduzida pelo jato de água seguindo a sua forma. Desta maneira Daniel havia demonstrado o princípio físico de reflexão interna total. O experimento de Colladon foi reproduzido em exposições internacionais de Glasgow e Paris e foi até mesmo utilizado como princípio em instalações de fontes luminosas para o balé Elias et Mysis em 1853 (Fischer, 2010; Dabija, 2018).

**Figura 9.** Feixe de luz conduzido em jato de água por reflexão interna total.



Fonte: Fischer (2010), acesso em 2024

Os primeiros sistemas refletores comercializados datam de 1850, patenteados pelo fotógrafo Paul Emile Chappuis. Os refletores, com estrutura em madeira, possuíam vários espelhos inclinados e tornaram-se muito populares, sendo utilizados em prédios governamentais, hotéis, residências dentre outros, como pode ser visto na **Figura 10** (Dabija, 2018).

Figura 10. Refletores em fachadas, Londres 1915.



Fonte: Mansfield (2021), acesso em 2024

Em Londres, anúncios com o título “Luz do dia perfeita! Por que queimar gás?”, divulgavam a produto, como pode ser visto na **Figura 11**. A produção persistiu até 1943, ano em que a fábrica sofre incêndio (Dabija, 2018).

Figura 11. Anúncio de divulgação dos refletores de Chappuis.

**PERFECT DAYLIGHT! WHY BURN GAS?**  
**CHAPPUIS' PATENT REFLECTORS**  
 IMPROVE NATURAL DAYLIGHT & SUPERSEDE GAS.  
 ESTABLISHED 1851

**CHAPPUIS' PATENTS FOR REFLECTING LIGHT,**  
*As granted by Her Majesty's Commissioners of Works, the Government Offices, the House of Parliament, the Admiralty, War Office, Royal Engineers, Board of Works, and leading Architects, Contractors, House-ers, Manufacturers, and also on Board Ships and in Hotels, Private Houses, &c.*

CHAPPUIS' PATENT REFLECTORS will be found eminently useful for all buildings where the daylight is obstructed and filtered owing to the total obstruction of windows, the proximity of opposite walls, or other local causes. They can be easily adapted where there is either a gable, eave, window, or skylight, and will be found to effect a considerable saving in the rent and expense to general health and comfort.

**ALL THE REFLECTING SURFACES** are fixed in strongly made wooden frames, so constructed as to radiate the light of the window all that is required to ensure the efficiency of the Reflector being that the reflecting material be seen to and the frame exposed to the sun. REFLECTORS required for the outside of shop fronts are made ornamental, of mahogany, stone, or with glass fronts, gold lettering, &c. The different adaptations of Reflectors are:—

**A. THE PATENT SILVER-FLUTED GLASS** where a moderate amount of light is required. . . . . 6s.  
**B. THE PATENT ARGENT-O-CRYSTAL**, or brass corrugated Crystal, a powerful medium. . . . . 8s.  
**C. THE PATENT MYRASTRATIC**, or Diamond Reflector, to diffuse a soft light. . . . . 10s.  
**D. THE LORNAWARK** (New Patent), Manufacture of specially placed sheets of Crystal, lightly polished, and coated with a deposit of pure Silver. (The most powerful of Reflectors). . . . . 10s. 6d.  
*P.A. — Quality will reflect 20 per cent more light than any other.*  
**E. THE PATENT SILVER-PLATED COPPER REFLECTOR**, with non-reflecting shaped surface, diamond, oval, pyramidal, conical, &c. according to the number in which light has to be reflected. . . . . 10s. 6d.  
*Especially selected for shops, and for all places where there is great danger of bad light, or where simply a protection for the silver-surface can be easily required, and at a small cost.*

**ORDERS FROM THE COUNTRY** should be accompanied with a rough sketch of the premises, indicating the exact dimensions of windows, skylights, and heights, length and breadth of passages; also the approximate dimensions of walls or opposite buildings, to enable that estimate may be supplied so well as instructions for the successful adaptation of the Reflector.

**NOTICE.**—A Small charge is made for fittings and fitting. Packing Cases and Carriage extra.

**THE TELL-TALE REFLECTOR** is invaluable for traffic who wish to see, from the interior of their apartments, people passing in the street. Price, with fitting, 15s. 6d.

**NOTE.**—It will be seen the quality is generally superior.

\* Particular attention is directed to Paragraph A.

Mr. CHAPPUIS manufactures every description of Reflectors for the Electric, Lamp, and Magnesium Light, and for Gas Lamp-Reflectors, MILLERS' Tables, Counting Houses, and for all similar purposes. The prices are according to size and quality of material. P.A.—A Special List may be had on application.

**P. E. CHAPPUIS, Sole Patentee and Manufacturer, 69, Fleet St., London.**

Fonte: Mansfield (2021), acesso em 2024

Mais tarde na Austrália, na década de 80, surge o primeiro tubo de luz natural para comercialização em massa, sendo patenteado e produzido pela empresa SOLATUBE, visualizado na **Figura 12**. O primeiro protótipo foi instalado em 1987 e posteriormente em 1991 o primeiro produto foi vendido (Kim *et al.*, 2010; Malet-Damour *et al.*, 2015; SOLATUBE, 2023).

**Figura 12.** Instalação da claraboia tubular SOLATUBE.



Fonte: SOLATUBE, acesso em 2024

Diante do exposto é possível perceber que ao longo da história o homem buscou manipular a luz natural, atribuído a ela por vezes valor místico, estético e/ou prático. Este valor pode ser notado ao observar a forma com que a luz se relaciona com a produção arquitetônica. Atualmente com a compreensão da importância da luz natural para uma melhor qualidade do ambiente construído, benefícios psicofisiológicos e eficiência energética, a inserção de elementos de iluminação natural não convencionais, como os tubos de luz natural, pode ser uma alternativa interessante para ambientes residenciais.

## 2.4 TUBOS DE LUZ NATURAL

Os tubos de luz natural, ilustrados na **Figura 13**, são dispositivos comercializados desde o seu surgimento na década de 80, utilizados para a captação e condução da luz solar por pequenas ou grandes distâncias. Geralmente instalados em ambientes que recebem pouca ou nenhuma luz natural, estes dispositivos podem proporcionar impactos positivos tanto econômicos quanto para a saúde e bem-estar dos usuários (Boubekri, 2008; Kim *et al.*, 2010; Malet-Damour *et al.*, 2020).

**Figura 13.** Modelo comercial de tubo de luz natural.



Fonte: SOLATUBE (2023).

Quanto aos impactos econômicos, estudos demonstram que os tubos de luz natural aliam um menor ganho de calor com uma boa capacidade de disponibilizar iluminação natural para os ambientes internos, diminuindo assim os custos demandados por carga de resfriamento, assim como por iluminação artificial (Pleshkov *et al.*, 2020; Heng *et al.*, 2020; Sern *et al.*, 2022; Malet-Damour *et al.*, 2022).

Williams *et al.* (2014), ao analisarem os ganhos térmicos provenientes de tubos de iluminação natural em clima tropical, verificam que a temperatura da cúpula e difusor do sistema ao longo do dia, podem gerar ganhos térmicos para o ambiente interno, com impactos na demanda de carga para resfriamento. Apesar disto, Wu *et al.* (2009) em sua pesquisa concluem que o ganho térmico proveniente de os tubos de luz natural é menor quando comparado ao ganho térmico de sistemas de iluminação artificial.

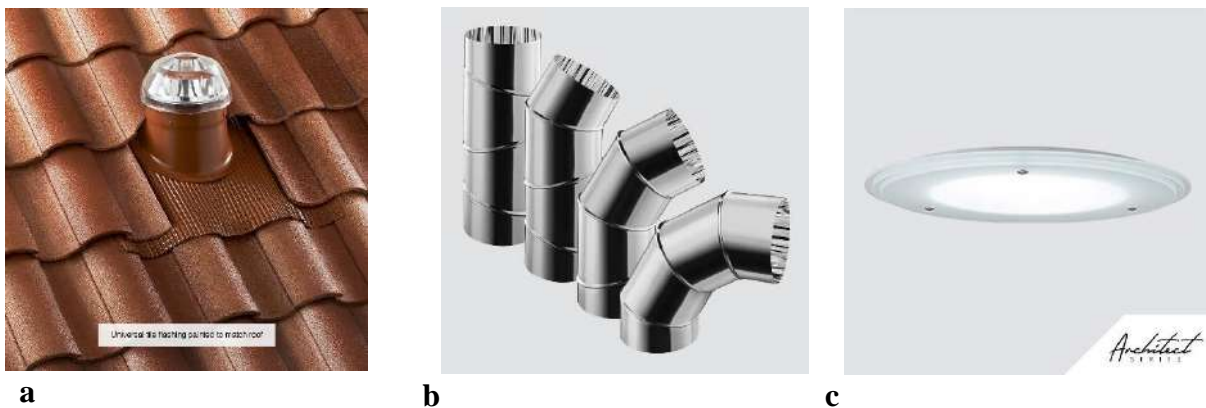
No que diz respeito à disponibilidade de iluminação natural, Williams *et al.* (2014) expõem que em dias claros o tubo de luz natural pode fornecer iluminação adequada para tarefas que exijam maior acuidade visual, diminuindo assim a demanda por iluminação artificial. Neste sentido, Heng *et al.*, (2020) e Hansen (2001) também atestam os benefícios da aplicação de tubos de luz natural horizontais para a melhoria da disponibilidade de iluminação natural em ambientes profundos.

A respeito dos benefícios para a saúde e bem-estar dos usuários, pesquisas confirmam que estes dispositivos não alteram o espectro da luz visível, conservando os valores de IRC, característica importante para a reprodução correta e natural das cores, o que pode garantir maior conforto e bem-estar, principalmente em locais de trabalho e de longa permanência (Malet-Damour *et al.*, 2022; ABNT, 2013). Além disto, o dispositivo permite a percepção da

passagem temporal e variação climática externa, trazendo benefícios psicofisiológicos ligados aos sistemas circadiano e cognitivo (Malet-Damour *et al.*, 2022).

Segundo Malet-Damour (2020), dentre os diversos sistemas de tubos de luz natural, atualmente os que fazem uso de superfícies espelhadas são os mais estudados e comercializados. O tubo de luz natural é composto por três elementos principais, o coletor, o tubo e o difusor, representados na **Figura 14** (Malet-Damour *et al.*, 2022; Malet-Damour *et al.*, 2020; Boubekri, 2008; Oakley *et al.*, 2000).

**Figura 14.** Componentes do tubo de luz natural: coletor passivo (a), tubo condutor (b), difusor (c).



Fonte: SOLATUBE (2023)

O coletor permite a captação da luz de forma passiva ou ativa. Os coletores passivos, possuem estrutura fixa, enquanto os ativos se movem em função da trajetória aparente solar, direcionando ou concentrando a luz, dentre outros modelos como o visto na **Figura 15**. Os coletores passivos dependem de uma maior dimensão para um desempenho satisfatório, porém exigem menor manutenção; já os coletores ativos, por possuírem sensores e design específico, são caros e exigem maior manutenção (Malet-Damour *et al.*, 2020).

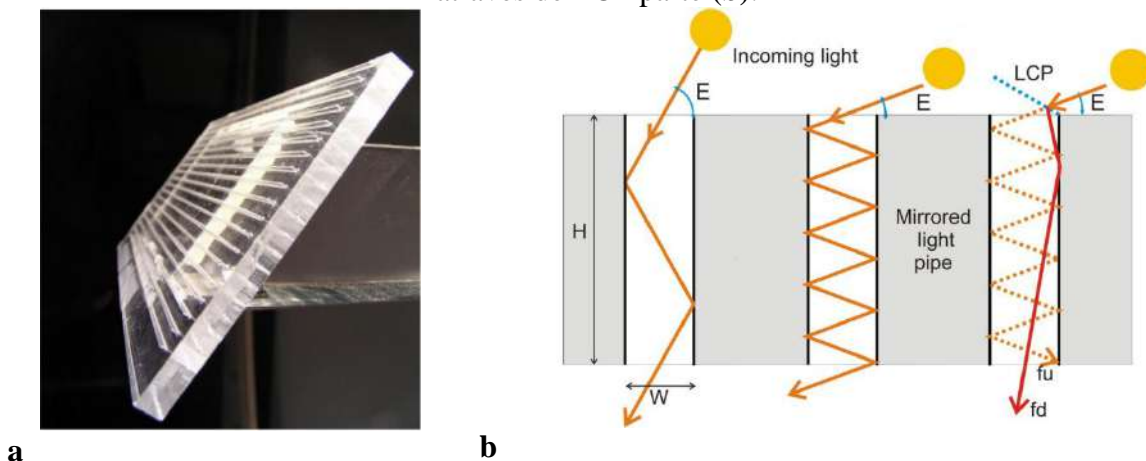
**Figura 15.** Tubo de luz natural associado a um heliostato para rastreamento e desvio da luz.



Fonte: Heliobus, acesso em 2024

Segundo Malet-Damour *et al.* (2020), o coletor é o componente do sistema que necessita maior otimização. Em suas pesquisas Singh (2021) e Hansen *et al.* (2009) apresentam a utilização de um coletor passivo constituído por painel cortado a laser LCP (laser cut panels), estrutura vista na Figura 16 parte (a). O painel LCP utiliza o princípio de reflexão interna total possibilitando o desvio dos raios solares, o que favorece um menor número de reflexões no interior do tubo, aumentando a eficácia deste sistema, como representado na **Figura 16** parte (b).

**Figura 16.** Painel cortado a laser (LCP) parte (a) e alteração de trajetória da radiação solar através de LCP parte (b).



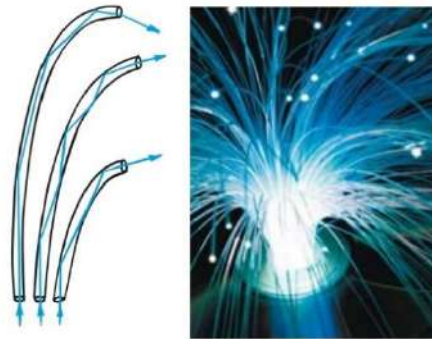
Fonte: Hansen *et al.* (2009).

Anteriormente, Hansen *et al.* (2001) demonstram que tubos horizontais utilizados para melhorar a iluminação de ambientes profundos, quando associados a coletores LCP são mais

eficazes, por diminuírem o número de reflexões no interior do tubo, sobretudo em ocasiões de maior altura solar.

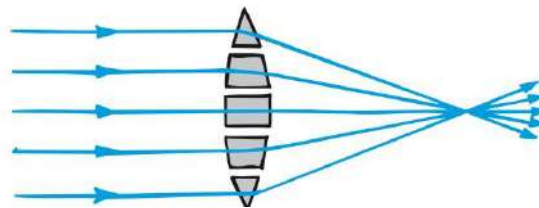
Quanto ao tubo, este é capaz de transportar o feixe de luz e sua classificação depende das propriedades físicas dos materiais utilizados: reflexão especular, através de superfície espelhada; reflexão interna total, como por exemplo em fibra óptica, **Figura 17**; refração convergente através de lentes, **Figura 18**; difusão, através de fluido (Malet-Damour *et al.*, 2020; Gupta *et al.*, 2001). Os tubos de luz natural que utilizam reflexão especular para o transporte da luz possuem superfície interna altamente refletiva (Oakley *et al.*, 2000).

**Figura 17.** Reflexão interna total.



Fonte: Hewitt (2015).

**Figura 18.** Refração convergente.



Fonte: Hewitt (2015).

Quanto a sua geometria, o tubo pode possuir diferentes formatos de seção, sendo que o circular é mais utilizado quando a instalação se dá na vertical e o retangular e triangular quando na horizontal (Malet-Damour *et al.*, 2020). Heng *et al.* (2020) propõem estudo de tubos de luz natural horizontais, nos quais a porção condutora possui diferentes geometrias. A investigação destes pesquisadores conclui que formatos que propiciem uma menor área de seção do tubo, como semicírculo e triângulo isósceles, melhoram o desempenho do sistema.

No caso do difusor, este elemento difunde a luz na sala através de processos como extração e emissão da luz. Na extração, a luz é fracionada ao longo do tubo, com o intuito de garantir

maior uniformidade da iluminação, enquanto na emissão o processo de difusão assemelha-se a uma luminária convencional (Malet-Damour *et al.*, 2020).

Além das características específicas dos componentes dos sistemas de tubos de luz natural, exerce influência sobre o seu desempenho as condições climáticas, período do ano, período do dia, orientação solar, características do ambiente a ser iluminado, dentre outros (Safa, *et al.* 2021; Malet-Damour *et al.*, 2019; Williams *et al.* 2014; Kim *et al.*, 2010). Malet-Damour *et al.* (2019), ao analisarem um tubo de luz natural no hemisfério sul, concluem que os valores de iluminância interno obtidos em dias de céu nublado são inferiores, com difusão mais uniforme da luz, ao passo que em dias de céu claro são superiores com luz direcional. A influência do tipo de céu no desempenho de tubos de luz também é confirmada por Kim *et al.*, (2010) e por Williams *et al.* (2014). Segundo Kim *et al.* (2010), em pesquisa experimental demonstram que em dias de céu claro a iluminância média aferida ao longo do dia é superior em mais de 50% se comparada aos quantitativos obtidos em um dia de céu nublado. Malet-Damour *et al.* (2019) também demonstram que a maior quantidade de luz natural no exterior e durante maior quantidade de horas ao dia nos meses de verão, implicam em uma maior eficiência do sistema. Os mesmos autores, quanto a refletância das superfícies internas do ambiente e orientação, apresentam resultados que demonstram que paredes claras chegam a diminuir em 37% a demanda por luz artificial e que a orientação inadequada do tubo de luz natural pode implicar em um decaimento da iluminância em até 20%.

Tendo em vista o potencial de conduzir a luz natural por grandes distâncias, conservar o espectro da luz natural após condução, permitir a percepção da variação climática externa e períodos do dia, baixa contribuição com ganhos térmicos, com consequentes benefícios para a qualidade do ambiente construído e bem-esta dos usuários, os tubos de luz natural mostram-se uma interessante alternativa não convencional para iluminação natural, sobretudo de ambientes de serviço e de alta permanência.

## 2.5 DESAFIOS PARA O BOM DESEMPENHO LUMÍNICO EM HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

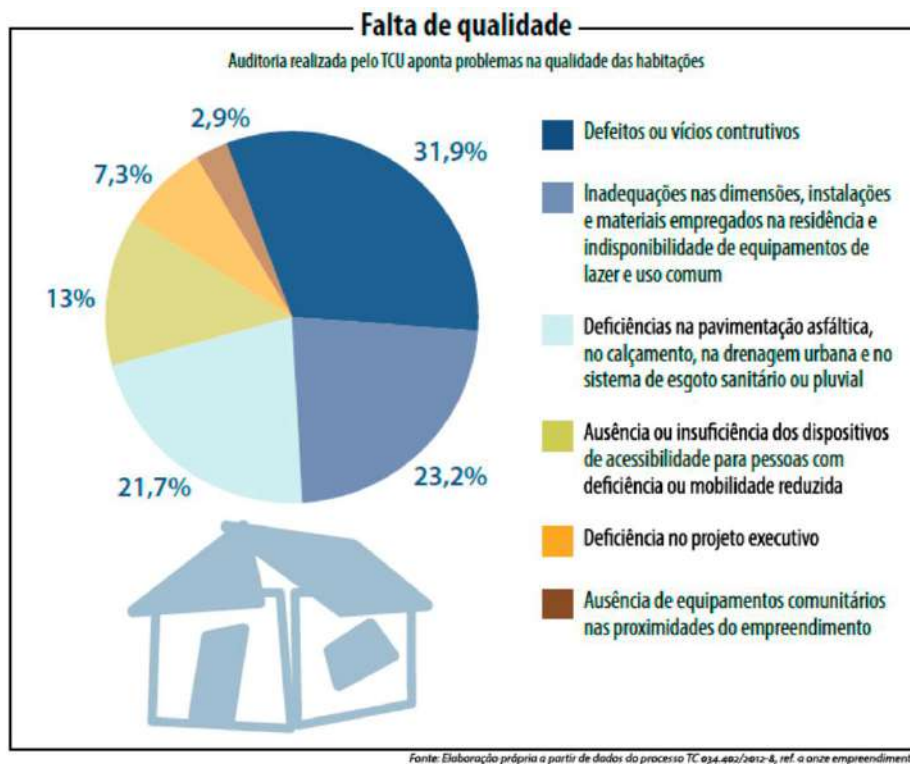
Na vida adulta atribui-se à casa própria um grande valor social. Para Torquato (2013), no Brasil, grande parte da população considera que a aquisição da casa própria é uma das mais importantes metas a serem alcançadas, sobretudo se ela se destina à proteção da família além de um dos principais patrimônios deixado para filhos e descendentes. Entretanto, segundo

Abiko e Ornstein (2002), a moradia de qualidade é de difícil acesso para grande parte da população, muitas vezes submetida a condições precárias de viver.

Neste contexto, a Fundação João Pinheiro (2024), alerta que o déficit habitacional no Brasil, verificado em 2022, é em torno de 6,2 milhões de moradias. Assim, apesar da moradia ser reconhecida como um direito pela Declaração Universal do Direitos Humanos de 1948 e em documentos brasileiros como a Constituição Federal e o Estatuto da Cidade, o cenário da habitação brasileira apresenta-se como um problema social e econômico (Marguti, 2018).

Diante do déficit habitacional surge na política pública o Programa Minha Casa Minha Vida, lançado em 2009 (Linke *et al.*, 2016). Porém, a produção das Habitações de Interesse Social (HIS) mostra-se controversa pela falta de qualidade das moradias, haja vista a ocorrência de defeitos ou vícios construtivos e inadequações nas dimensões, instalações e materiais, fatos evidenciados por auditoria realizada pelo Tribunal de Contas da União, **Figura 19** (Brasil, 2018).

**Figura 19.** Gráfico sobre a qualidade da habitação a partir de auditoria realizada pelo Tribunal de Contas da União.



Fonte: Brasil. Senado Federal, 2018

Tendo em vista a qualidade da produção de habitações, Sorgato (2014) comenta sobre a existência de demanda regulatória para o setor da construção civil na primeira década do ano 2000, o que conduziu à elaboração da NBR 15575, datada em 2013, que trata “Edificações Habitacionais – Desempenho”. Dentre as recomendações da NBR 15575 aponta-se o adequado aproveitamento da luz natural para edificações habitacionais na qual ela indica o desempenho lumínico como um dos fatores de influência no requisito habitabilidade (ABNT, 2013). Entretanto o que se observa é uma falta de qualidade de HIS em função da não observância de requisitos mínimos sugeridos na norma.

Stuchi (2022), apresenta estudos de caso de HIS, por meio de simulações computacionais, nas quais alguns ambientes não atingem o nível mínimo de iluminância (60 lx) indicado pela norma NBR 15575, por consequência de uma implantação inadequada, assim como um afastamento lateral da habitação vizinha insuficiente, obstruindo a entrada da luz natural. Em outro estudo Souza *et al.* (2020) comentam que a produção em larga escala de HIS muitas vezes desconsidera as condições ambientais do local, apontando a ocorrência de iluminância excessiva, ocasionando desconforto e ofuscamento, como também aumento do consumo de energia para resfriamento. Lima *et al.* (2012) complementam que o aumento da quantidade de HIS não pode ocorrer em detrimento, dentre outros fatores, da inserção climática, visto que sua inobservância resulta em maior consumo de energia para condicionamento.

Outra ocorrência que pode vir a prejudicar a performance lumínica dos ambientes em HIS é a autoconstrução. Bortoli *et al.* (2020), em estudo de caso, verificam que moradores insatisfeitos com suas casas, ao longo do tempo realizam reformas e ampliações. Os mesmos autores acrescentam ainda que a construção de novos cômodos, extensões do telhado, pavimentação do entorno, podem prejudicar o conforto lumínico e térmico, visto que as aberturas são obstruídas e muitos materiais utilizados possuem desempenho térmico insatisfatório. Santos e Laranja (2022) também realizam investigação sobre a influência da autoconstrução na disponibilidade de luz natural em cozinhas. Os mesmos verificam uma diminuição da iluminância entre 35% a 80%, quando há acréscimos de varandas e cômodos contíguos às aberturas da cozinha e percentual de iluminância excessiva, próximo a 20%, em modelo sem alterações, o que pode acarretar ganhos térmicos para o ambiente.

Neste contexto, medidas mínimas, projetos rígidos, materiais de baixa qualidade, dentre outros fatores, prejudicam a resiliência da edificação, ou seja, a capacidade de resistência, adaptação e transformação do ambiente construído frente aos impactos ao longo do tempo (Bortoli *et al.*, 2020).

A partir da base conceitual adotada neste capítulo, ressalta-se a relevância da compreensão das características físicas da luz e de como elas podem potencializar a disponibilidade de luz natural no ambiente interno. Estas características também importam para os sistemas de condução da luz, como tubos de luz natural, objeto de estudo desta dissertação. Tendo em vista os benefícios psicofisiológicos e energéticos da luz natural, o incremento de tubos de luz natural em ambientes de grande demanda por iluminação como as cozinhas, pode contribuir com a resiliência da habitação de interesse social, por garantir luz de forma satisfatória e de boa qualidade.

3.1 Troplux para Simulações  
Computacionais de Desempenho  
Lumínico

3.2 Estudo de Caso: Ambiente de  
Experimentação

3.3 Fase 1: Estudo Piloto

3.4 Fase 2: Validação da Pesquisa

# 3

## METODOLOGIA

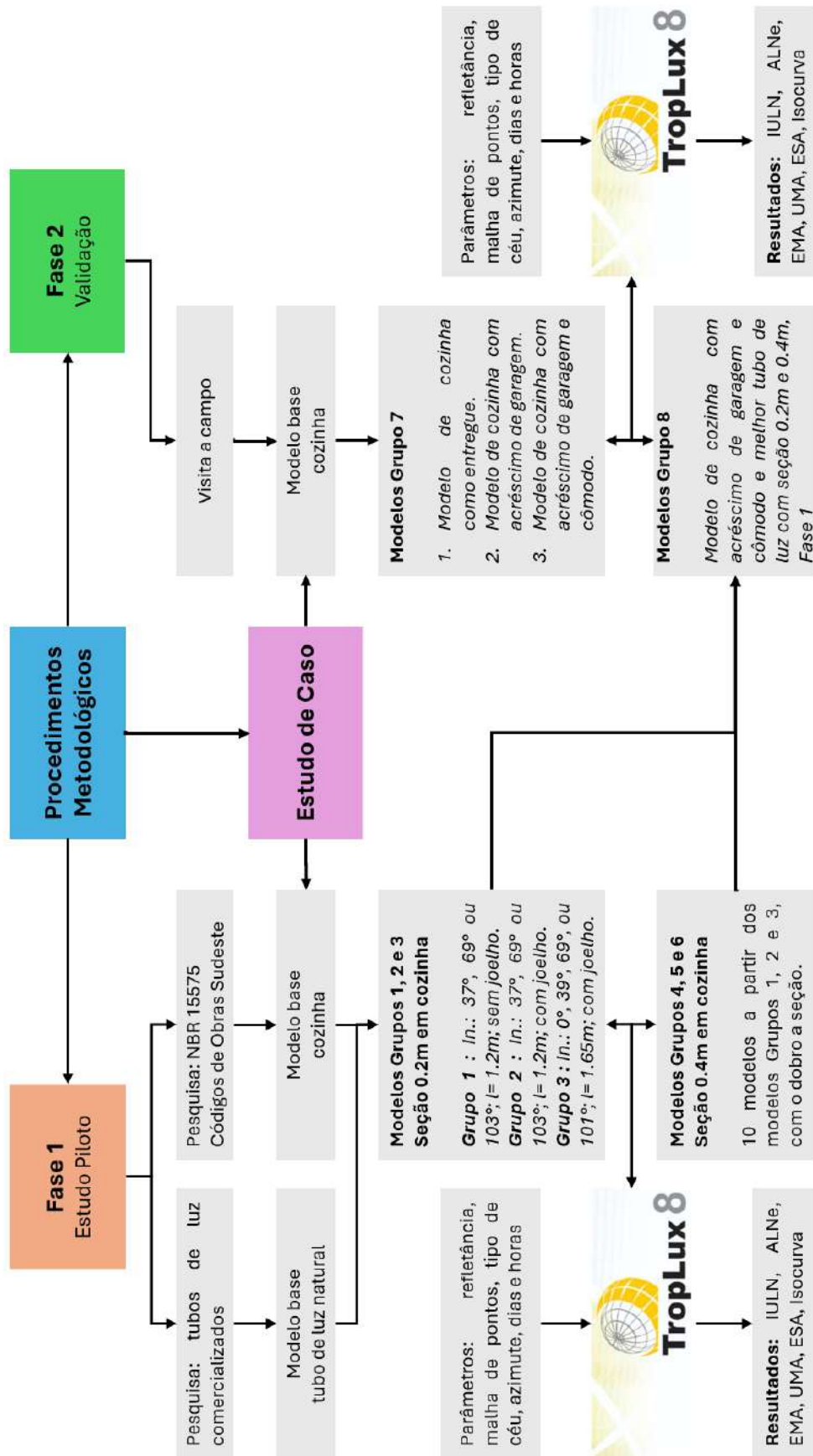
### 3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos e descreve os parâmetros que nortearam o desenvolvimento da pesquisa, a qual busca analisar a performance lumínica de tubos de luz natural em ambiente de habitação unifamiliar de interesse social, assim como a contribuição lumínica deste sistema em casos de autoconstrução. Para isto serão realizadas simulações no software TropLux 8 em duas fases, que permitirão estabelecer análises comparativas entre diversos modelos.

Sendo assim, na **Fase 1**, estudo piloto, é possível analisar a partir de vinte modelos a disponibilidade de luz natural em um ambiente fictício de cozinha no qual é aplicado tubo de luz natural, como também investigar a influência da inclinação, adição de joelho, comprimento e aumento da dimensão da seção do tubo na performance lumínica deste sistema.

Na **Fase 2**, com intuito de validar a pesquisa, procede-se em um primeiro momento com o diagnóstico da influência da autoconstrução na disponibilidade de luz natural em cozinha de habitação unifamiliar de interesse social. Para isto são analisados 3 modelos representativos da autoconstrução recorrentes em um conjunto habitacional. Em um segundo momento, são aplicados ao modelo de cozinha com menores níveis lumínicos, tubos de luz natural que obtiveram as melhores performances lumínicas provenientes da investigação da Fase 1. O organograma dos procedimentos metodológicos pode ser visualizado na **Figura 20**.

Figura 20. Organograma dos procedimentos metodológicos.



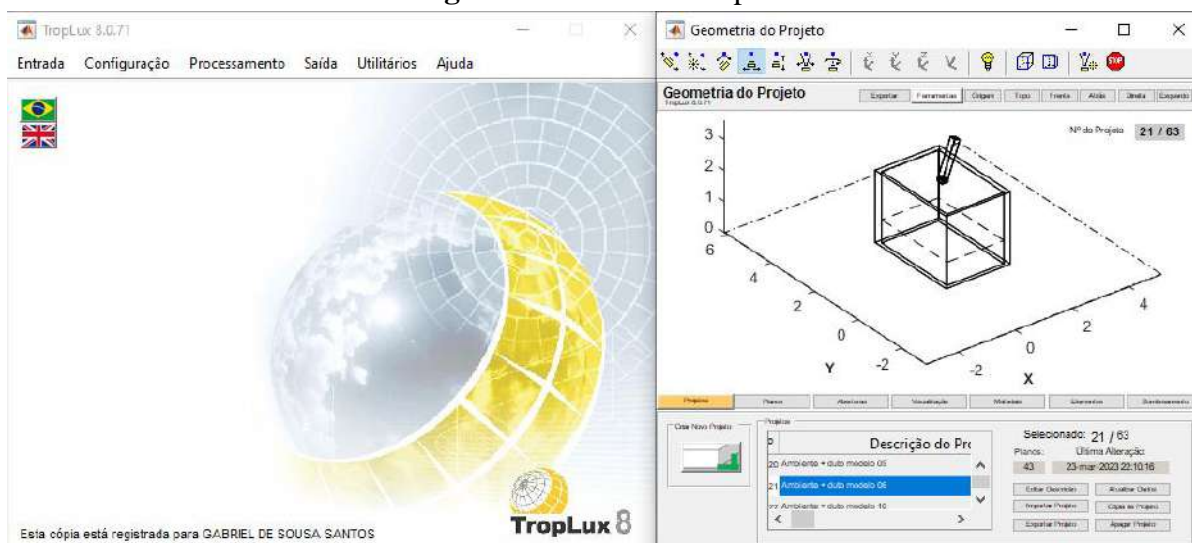
Fonte: Autor, 2024

### 3.1 TROPLUX PARA SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE DESEMPENHO LUMÍNICO

As pesquisas em iluminação natural utilizando simulações computacionais tem avançado significativamente com a evolução de ferramentas digitais. Segundo Cabús (2005), estes recursos tornam as pesquisas rápidas e eficientes. A NBR 15575-1 também reconhece a importância das simulações computacionais, indicando-as como um dos métodos avaliativos de desempenho das edificações e descreve as condições deste procedimento (ABNT, 2013).

Dentre os diversos softwares para simulações da iluminação natural cita-se o Troplux, desenvolvido e utilizado como ferramenta em seu doutorado pelo pesquisador Ricardo Cabús e disponibilizado de forma gratuita na página do Grupo de Pesquisa em Iluminação (GRILU), do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. Na **Figura 21** é possível visualizar a área de trabalho do programa.

**Figura 21.** Software Troplux.



Fonte: Autor a partir do Troplux, 2024.

De acordo com Cabús (2005), o software Troplux tem por objetivo a realização de simulações do desempenho da iluminação natural, a partir de características das geometrias arquitetônicas e características climáticas. O software foi criado por meio de linguagem MATLAB (Matrix Laboratory) e possui metodologia baseada nos conceitos do Método Monte Carlo, Método do Raio Traçado e Coeficiente de Luz Natural (Cabús, 2005).

O Troplux, desenvolvido em cinco módulos (entrada, configuração, processamento, saída e utilitário), permite a entrada da geometria da sala a partir da construção de planos, cujas superfícies configuráveis podem ser difusas, especulares e mistas, assim como opacas, transparentes e translúcidas. É possível também configurar valores para refletância do solo e inserir obstruções e proteções solares externas à arquitetura pesquisada (Cabús, 2002; Cabús, 2005). Somado a isso, o software permite adotar um dentre 16 tipos de céu, sendo 15 tipos definidos pela CIE e o Céu com Distribuição Dinâmica de Luminâncias (DDL), que busca reproduzir a partir de dados meteorológicos as condições de céu para as coordenadas geográficas da sala em estudo, a partir da variação estatística dos 15 tipos de céu definidos pela CIE (Laranja, 2016). No módulo de saída, após o processamento, os resultados são apresentados por meio de gráficos e tabelas.

Nesta pesquisa, através do software Troplux, será possível analisar a performance lumínica de tubos de luz natural em ambiente de cozinha de habitação unifamiliar de interesse social, a partir da investigação da influência das variações das características dos componentes deste sistema e sua capacidade de contribuir com a resiliência da habitação de interesse social em casos de autoconstrução.

### 3.2 ESTUDO DE CASO: AMBIENTE DE EXPERIMENTAÇÃO

Nesta etapa dos procedimentos metodológicos realiza-se estudo de caso de cozinha comum a 53 residências, as quais compõem um conjunto habitacional unifamiliar de interesse social.

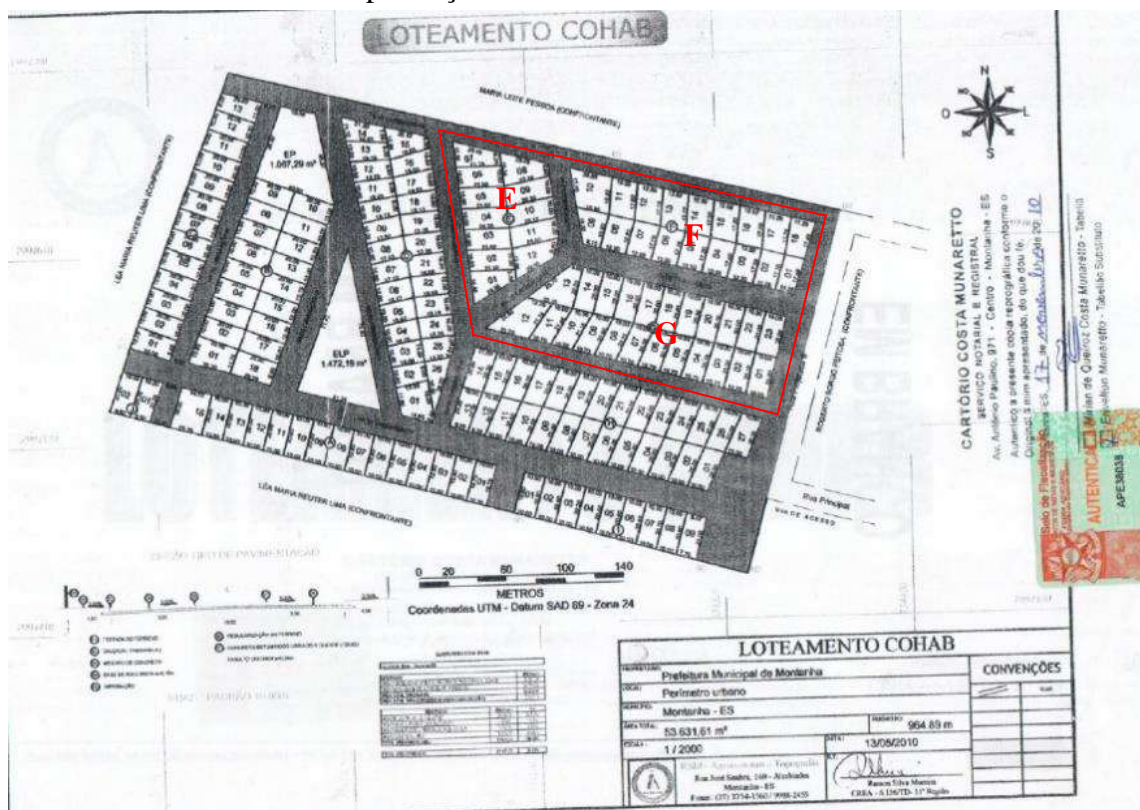
Segundo a Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano (2024), a habitação Social no Estado Capixaba evoluiu desde a criação do Banco Nacional da Habitação (BNH) e atualmente, através do programa Nossa Casa, gerenciado pela Sedurb com recursos do FEHAB, tem-se buscado aumentar a oferta de habitações às famílias de baixa renda, com o intuito de diminuir o déficit habitacional Capixaba, através de dois subprogramas: PEHU, de atuação em áreas urbanizadas; PEHR, de atuação em áreas rurais (Sedurb, 2024).

No período de execução das unidades habitacionais escolhidas para este estudo de caso, o financiamento foi provido pela Companhia Habitacional do Estado do Espírito Santo (COHAB-ES) e recursos municipais. Segundo informações da Prefeitura Municipal de Montanha (2018) e Rodrigues *et al.* (2009/2012), das 53 casas em análise, 50 são financiadas pelo estado,

enquanto que outras 3 financiadas com recursos municipais, apesar disso, apresentam uma mesma distribuição funcional e tipologia.

As residências financiadas pela COHAB-ES e, segundo Rodrigues *et al.* (2009/2012) e visita local, situam-se na extremidade oeste do bairro Maria Zélia, que também está na extremidade oeste do distrito de Montanha, próximas ao parque de exposições agropecuárias do município. Esta área foi cedida e parcelada pelo município, intitulada loteamento COHAB, de interesse social pelo DECRETO N° 3557 de 27 de outubro de 2008. As unidades estão implantadas em 3 quadras a saber, E (12 unidades), F (18 unidades) e G (23 unidades), totalizando 53 residências como pode ser observado na **Figura 22**.

**Figura 22.** Loteamento COHAB, com circunscrição em vermelho das quadras de implantação das residências estudadas.



Fonte: Moreira R. S., (2010), com alterações do autor.

A área parcelada é plana, distante 900 m do curso d'água mais perto, possui infraestrutura como rede de abastecimento de água, esgotamento sanitário, rede elétrica, coleta seletiva e projeto urbanístico de pavimentação e arborização (Rodrigues *et al.*, 2009/2012). O bairro, com mais de 30 anos, conta com equipamentos públicos a saber, posto de saúde, praças, rodoviária, escola de ensino fundamental, além de supermercados, padaria, bares, parque de exposições

agropecuárias, associação de moradores com sede própria e igrejas (Rodrigues *et al.*, 2009/2012).

A população beneficiada, na ocasião, possuía cadastro no CADUNICO e NIS, com renda familiar de 1 ou 2 salários mínimos, vivendo em moradias alugadas, cedidas, invadidas, ou ainda em área de risco. Quanto a ocupação, são diaristas, donas de casa, garis, pedreiros, pensionistas, aposentados e outros, com baixa escolaridade e sem necessidades especiais, que exigissem adaptações da moradia. Os critérios para a seleção das famílias eram: renda familiar de até 2 salários mínimos; não possuir moradia própria; família com crianças; mãe solteira chefe de família (Rodrigues *et al.*, 2009/2012).

Segundo memorial elaborado por Pitanga *et al.* (2012) e também constatado no projeto arquitetônico COHAB (2006), cedido pela Prefeitura Municipal, apresentam-se as características da unidade habitacional: casa térrea com 39,20 m<sup>2</sup>, com programa de necessidades contendo 2 dormitórios, um frontal (250 x 340 cm) e um nos fundos (250 x 330 cm), 1 sala (280 x 340 cm), 1 cozinha (200 x 280 cm), 1 banheiro (120 x 190 cm), circulação (80 x 140 cm) e 1 área de serviço descoberta, totalizando área útil de 35,27 m<sup>2</sup>.

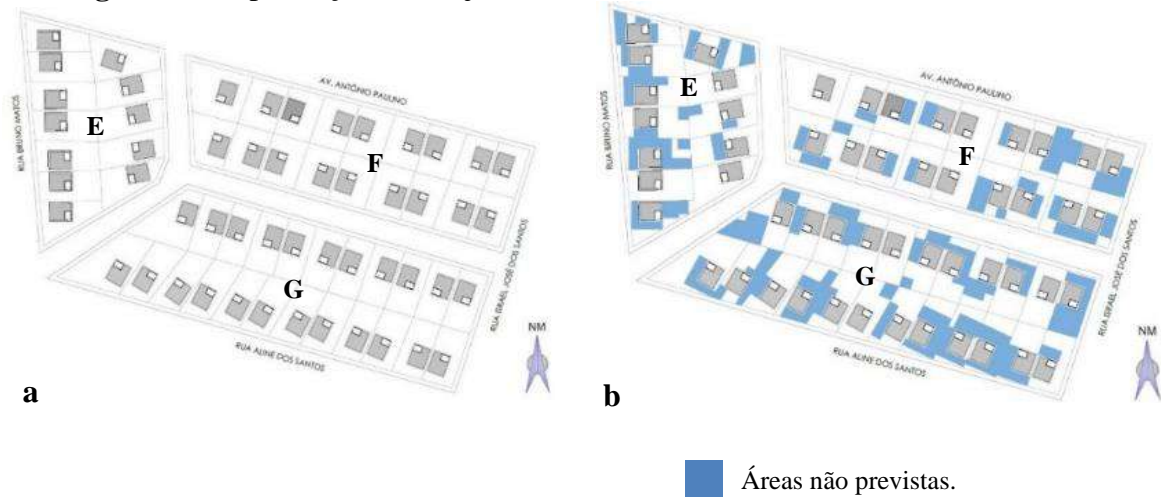
A fundação é do tipo rasa, e a alvenaria em blocos de concreto; a cobertura, em duas águas, com beiral mínimo de 60 cm, possui estrutura em madeira e telhas cerâmicas tipo plan; as esquadrias externas são mistas, em vidro canelado e aço fosfatizado, e as internas em madeira, sendo portas de 85 x 215 cm, janelas de 120 x 120 cm, básculas 60 x 80 cm. É prevista execução de calçada de proteção, ao redor da edificação, com profundidade de 50 cm (Pitanga *et al.*, 2012).

Quanto aos acabamentos: piso cerâmico esmaltado popular, assim como o rodapé; soleira em granito cinza; paredes de áreas molhadas, azulejadas até altura de 1,5 m; paredes internas não azulejadas, 2 demãos de pintura látex PVA, sobre selador; paredes externas, 2 demãos de pintura látex acrílica, sobre selador (Pitanga *et al.*, 2012). A planilha orçamentária prevê um custo total por unidade de R\$ 36.000,00 (trinta e seis mil reais), segundo Estado do Espírito Santo (2012).

Após a ocupação das residências em 2012, várias unidades sofreram algum tipo de modificação, com ou sem acréscimo de área construída. Tendo por base imagem de satélite do ano de 2022 e visita a campo, é possível observar na **Figura 23**: parte “a” - as quadras, os lotes e as unidades habitacionais em cinza, com identificação do posicionamento da cozinha, remetendo ao ano de 2012, data de entrega do empreendimento às famílias beneficiadas; parte “b” - as unidades habitacionais em cinza, com identificação do posicionamento da cozinha e

em azul destacam-se as áreas não previstas no projeto COHAB, o que permite confirmar a possível prática da autoconstrução neste conjunto habitacional.

**Figura 23.** Implantação do conjunto habitacional COHAB (a) 2012 e (b) 2022.



Fonte: Autores, 2024.

Após a visita a campo, constatou-se que 85% das unidades habitacionais sofreram acréscimo de área construída. Dentre as alterações observadas nota-se a recorrência do acréscimo de garagem, varanda frontal e varanda ou cômodo aos fundos das residências. Em algumas unidades era possível notar também pequenas reformas como a substituição dos modelos de esquadrias padrão, por esquadrias em madeira.

Os padrões de acabamentos das reformas são diversificados, isto pode demonstrar que o programa habitacional atende diferentes perfis socioeconômicos, como também evidenciar dificuldades quanto à conscientização e divulgação do acesso à assistência técnica pública e gratuita, para projeto de habitação de interesse social, prevista pela Lei nº 11.888, de dezembro de 2008 (Brasil, 2008). As reformas executadas em algumas das residências podem ser observadas na **Figura 24**.

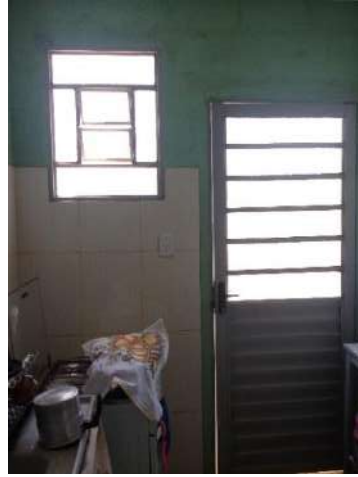
**Figura 24.** Reformas e ampliações em conjunto habitacional de interesse social em Montanha – ES: a – execução de ponto comercial em fundo de lote; b – execução de garagem na lateral; c – execução de segundo pavimento; d – execução de varanda lateral e cômodo contíguos à cozinha.



Fonte: Autores, 2022.

Algumas residências apresentavam estado de conservação precário, o que pode indicar o desconhecimento quanto às medidas de manutenções preventivas dos sistemas que compõem as unidades, visando o maior tempo de vida útil da habitação, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013). Foi possível constatar também que, alguns itens previstos em memorial descritivo não foram cumpridos em todas ou em algumas residências. As unidades não apresentavam calçada de proteção ao redor da edificação, algumas não possuíam piso cerâmico, altura de cerâmica em paredes de áreas molhadas inferior a 1,5 m e outras não apresentavam acabamento nas paredes internas. Estas constatações podem ser observadas na **Figuras 25, 26, 27 e 28.**

**Figura 25.** Acabamento interno de cozinha: **a** – acabamento de parede em cerâmica decorada e pintura sobre bloco de concreto; **b** – acabamento de parede em cerâmica clara e pintura sobre bloco de concreto; **c** – acabamento de parede em cerâmica, altura inferior a 1,5m e bloco de concreto aparente.

**a****b****c**

Fonte: Autores, 2018.

**Figura 26.** Acabamento interno de banheiro: **a** – acabamento de parede em cerâmica clara, forro em PVC, piso cerâmico claro; **b** – acabamento de parede em cerâmica clara, pintura sobre bloco de concreto, piso cerâmico claro e forro em PVC; **c** – acabamento de parede em cerâmica clara, sem forro, piso em cimento queimado.

**a****b****c**

Fonte: Autores, 2018.

**Figura 27.** Acabamento interno de sala: **a** – pintura sobre bloco de concreto, forro em PVC, piso cerâmico claro; **b** – pintura sobre bloco de concreto, piso cerâmico claro e forro em PVC; **c** – bloco de concreto aparente, sem forro, piso em cimento queimado.

**a****c****d**

Fonte: Autores, 2018.

**Figura 28.** Ausência de calçada no entorno das edificações e sinais de umidade ascendente em (a), (b) e (c).

**A****b****c**

Fonte: Autores, 2018.

### 3.3 FASE 1: ESTUDO PILOTO

A Fase 1 busca analisar através de modelos computacionais a disponibilidade de luz natural em um ambiente fictício, no qual foi aplicado um tubo de luz natural. Além da análise da performance lumínica deste sistema, também será investigada a influência de variáveis tais como: comprimento do tubo, inclinação, adição de joelho e aumento da dimensão da seção do tubo.

Esta fase inicia-se com o levantamento de referências para o desenvolvimento dos modelos. Uma cozinha foi determinada como ambiente de simulação, por ser caracterizada

como ambiente de serviço. Também foram determinados tubos de luz natural que possuam formas e dimensões mínimas aproximadas às comercializadas no mercado.

Para a cozinha adotaram-se por referências informações contidas em códigos de obras das capitais da Região Sudeste, na NBR 15575 (ABNT, 2013) e em estudo de caso. Quanto aos modelos de tubos de luz natural, teve-se por referências informações técnicas disponibilizadas por empresas que fabricam e comercializam este sistema de iluminação.

Durante as simulações, ao modelo de cozinha são inseridos tubos de luz natural, que possuem variações à cada teste, originando assim vinte modelos, divididos em seis grupos, com vistas a análise da performance deste dispositivo e compreensão da influência das partes que o compõe.

### 3.3.1 Levantamento e Definição do Ambiente de Cozinha

Para a definição do modelo de cozinha foram tomadas por referências as informações contidas em códigos de obras das capitais da Região Sudeste, nos quais foram observados o pé direito e a menor dimensão possível a ser adotada para este ambiente, descritos no **Quadro 1** (Vitória, 1998; Belo Horizonte, 2009; São Paulo, 2017; Rio de Janeiro, 2019).

**Quadro 1.** Dimensões mínimas para Códigos de Obras das capitais da Região Sudeste do Brasil.

Dimensões mínimas de cozinhas				
Capital	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensão (m)	Pé direito (m)	Outro
Vitória	-	-	2,30	Possibilitar a inscrição de círculo com diâmetro de 1,50 m
São Paulo	-	-	2,50	Possibilitar a inscrição de círculo com diâmetro de 1,50 m
Belo Horizonte	-	-	2,60	-
Rio de Janeiro	-	-	-	-

Fonte: Autores, 2024.

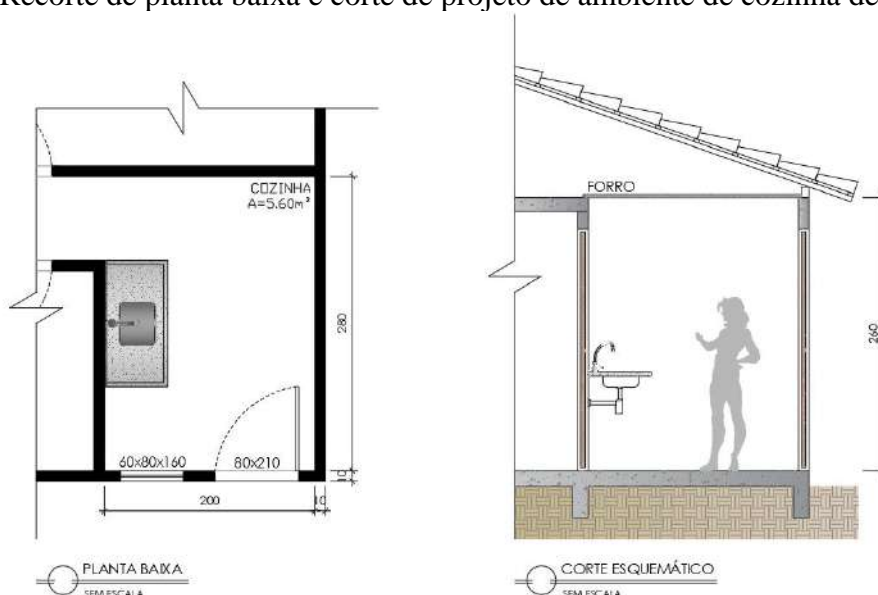
No que diz respeito a NBR 15575 – 1 (ABNT, 2013), a mesma contribuiu com as recomendações quanto ao mobiliário mínimo de uma cozinha, que deve ser constituído por: fogão, geladeira, pia de cozinha, armário sobre a pia, gabinete, apoio para refeições (2 pessoas). Para tanto, o mesmo documento indica dimensões mínimas necessárias à distribuição do mobiliário e circulação, descritos no **Quadro 2**.

**Quadro 2.** Dimensões mínimas para mobiliário de cozinha segundo a NBR 15575-1

Dimensões mínimas de cozinhas			
Item	Largura (m)	Profundidade (m)	Observações
Pia	1,20	0,50	Largura mínima da cozinha, de forma que comporte as dimensões sugeridas para mobiliário e circulação: 1,50 m
Fogão	0,55	0,60	-
Geladeira	0,70	0,70	-
Circulação	0,85	-	-
Armários	-	-	Espaço obrigatório para móvel
Apoio para refeição	-	-	Espaço opcional para móvel

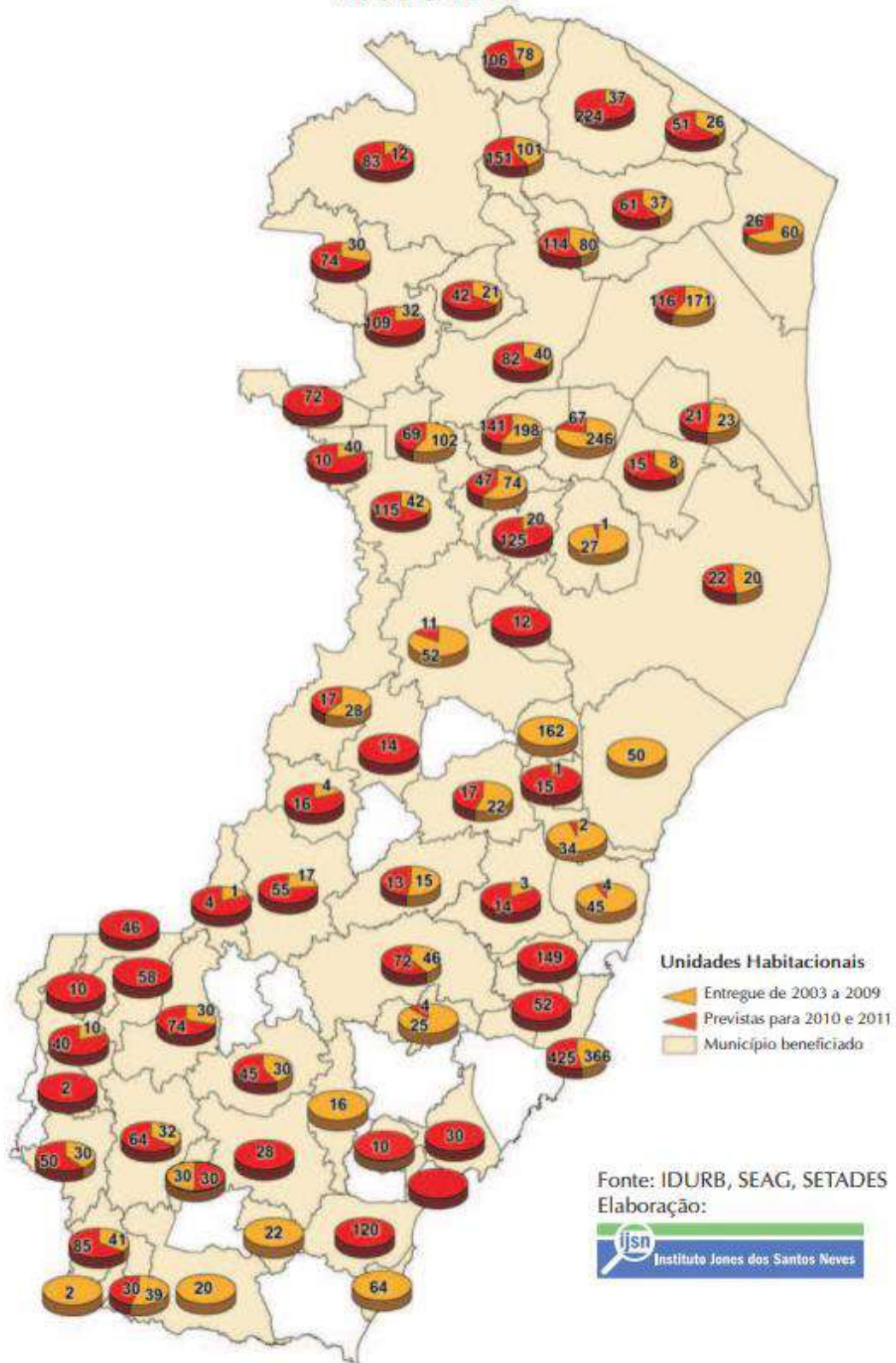
Fonte: Autores, 2024.

No que se refere ao ambiente de cozinha analisado em estudo de caso, verificaram-se suas características em projeto arquitetônico utilizado para o desenvolvimento das 53 casas de conjunto habitacional em Montanha-ES, projeto este que também foi amplamente executado ou tem execução prevista em quase todo o estado, como pode ser observado na **Figura 29** e **Figura 30**. Segundo o Instituto Jones dos Santos Neves e Governo do Estado do Espírito Santo, no período entre 2003 e 2009 foram entregues 2946 unidades, enquanto entre 2010 e 2015, 2735 unidades.

**Figura 29.** Recorte de planta baixa e corte de projeto de ambiente de cozinha de HIS.

Fonte: Autores 2024, a partir projeto de HIS.

**Figura 30.** Distribuição de HIS executadas e previstas no estado do Espírito Santo.  
**Habitações construídas de 2003 a 2009 e planejadas para 2010 e 2011**



Fonte: Sedurb (2016).

As características observadas em memorial elaborado por Pitanga (2012) e também constatadas no projeto arquitetônico COHAB (2006), cedido pela Prefeitura Municipal de Montanha, são organizadas no **Quadro 3**.

**Quadro 3.** Características das habitações analisadas em estudo de caso, observadas em memorial (Pitanga, 2012) e constatadas em projeto arquitetônico COHAB (2006).

Características de Habitações de Estudo de Caso	
Dimensões	Largura – 2m / Comprimento – 2.8m / Área - 5.6m <sup>2</sup> .
Esquadrias	Esquadrias externas mistas, em vidro canelado e aço fosfatizado. Porta - 85 x 215 cm / báscula - 60 x 80 cm.
Cobertura	Telhado de estrutura de madeira e telhas cerâmicas tipo plan.
Acabamento de piso	Piso cerâmico esmaltado popular, assim como o rodapé. Soleira em granito cinza.
Acabamento de parede	áreas molhadas azulejadas até altura de 1,5 m e paredes internas não azulejadas duas demãos de pintura látex PVA sobre selador.

Fonte: Autores, 2024.

Desta forma, partindo-se da premissa que o modelo de cozinha deve considerar as dimensões mínimas indicadas pelos códigos de obras analisados, permitir a organiza o do mobiliário mínimo descrito pela NBR 15575 (ABNT, 2013) e considerar também as medidas e características de cozinhas adotadas em habita o unifamiliar de interesse analisada em estudo de caso, foram determinadas as seguintes dimensões para ambiente: comprimento e largura de respectivamente 3m e 2m, pé direito de 2,3m e área de 6m<sup>2</sup>, conforme observa-se na **Figura 31**.

**Figura 31.** Planta baixa ambientada de cozinha, com mobiliário mínimo e dimensões adotadas.



Fonte: Autores, 2024.

### 3.3.2 Levantamento e Definição do Tubo de Luz Natural

Para a definição do tubo de luz natural, tomaram-se como referências informações disponibilizadas em sites e catálogos de empresas que fabricam e comercializam este sistema, como observado no **Quadro 4**.

**Quadro 4.** Características de tubos de luz natural disponibilizados no mercado.

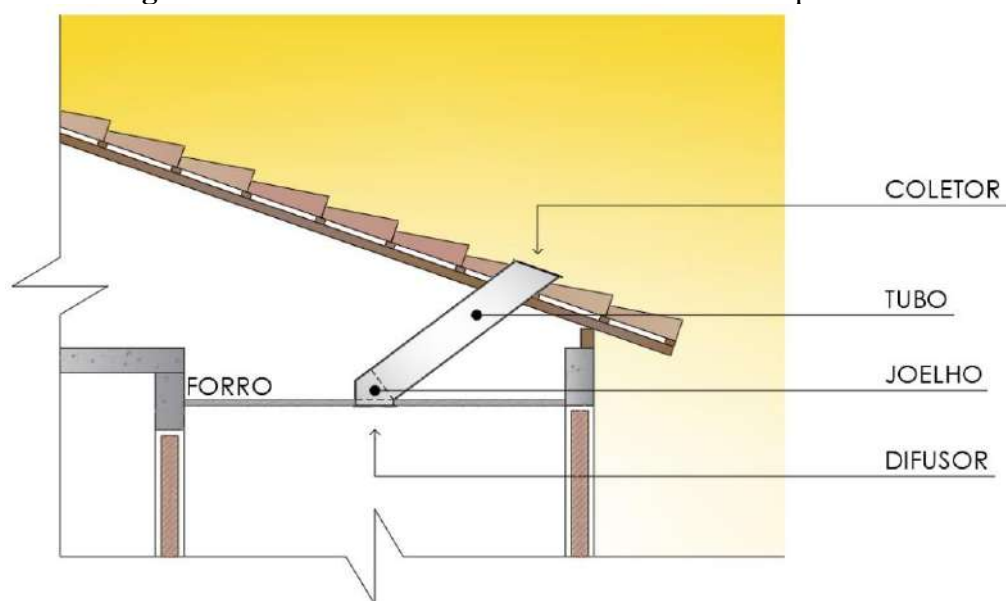
TUBOS DE LUZ NATURAL					
Empresa	Coletor	Tubo		Difusor	Fonte
		Diâmetro	Refletância espec.		
Monodraught	Vidro duplo ou cúpula acrílica	0,23m;	0,98	Vidro opaco ou policarbonato	MONODRAUGHT (2023)
Solatube	Cúpula acrílica	0,25m;	0,997	-	SOLATUBE (2024)
VELUX	Vidro temperado 4mm ou cúpula acrílica	0,35m;	0,99	Policarbonato	VELUX (2024)
Lightway	Cristal	0,152;	0,998	Vidro	LIGHTWAY (2024)
Solarspot	-	0,25m;	0,997	-	SOLARSPOT (2024)

Fonte: Autores, 2024.

Tendo por base as informações acima descritas, foi definido o modelo de tubo de luz natural com sessão quadrada, com as seguintes características: lado de 0,20m; coletor e difusor com vidro incolor plano de 4mm. A área de sessão quadrada aproxima-se da área da sessão circular de um tubo de luz natural cilíndrico, com diâmetro de 0,23m. Justifica-se a escolha da forma quadra pela facilidade de modelagem no software TropLuz, além de também ser um formato usual como citado por Malet-Damour *et al.*, (2020) e demonstrado por Heng *et al.* (2020).

A disponibilidade de luz natural em ambientes que fazem uso de tubos de luz natural é impactada pelos seus componentes principais, evidenciados na **Figura 32**, sendo eles: o coletor, que capta a luz solar para o tubo de forma passiva ou ativa; o tubo, que conduz a luz solar por reflexões; o difusor, que por sua vez difunde a luz no ambiente interno (Malet-Damour *et al.*, 2019; Malet-Damour *et al.*, 2020). Desta forma serão investigados a performance do tubo de luz natural por meio da análise de seus componentes.

**Figura 32.** Modelo de tubo de luz natural e seus componentes



Fonte: Autor, 2024.

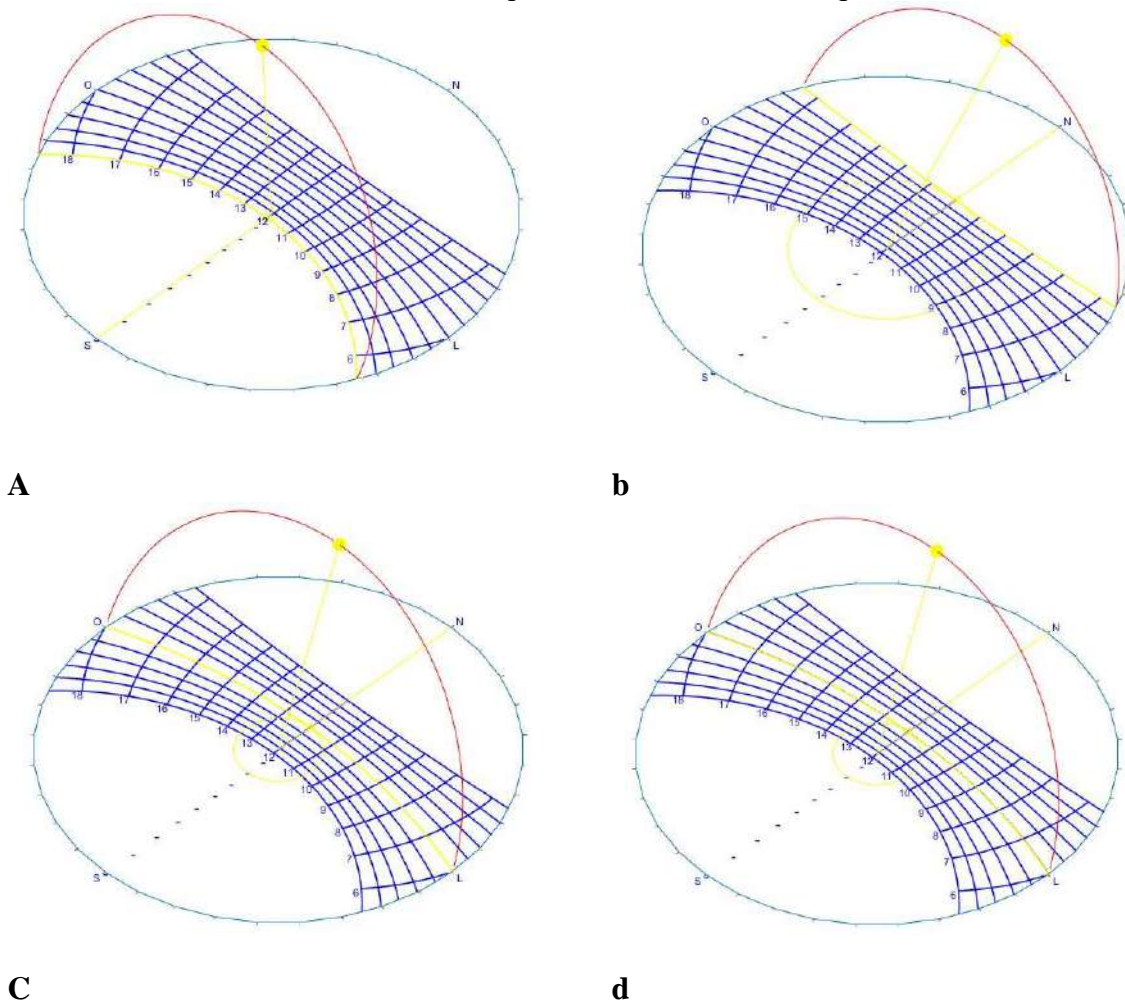
### 3.3.3 Características dos Modelos Fase 1 e Suas Variações

Para as simulações da Fase 1, não são consideradas as contribuições lumínicas das aberturas laterais, assim como a parcela de luz refletida pelo telhado, visto que nos modelos desta fase este elemento não foi modelado. Além disto, os tubos de luz natural foram posicionados ao centro do ambiente.

Com vistas a avaliar a influência da performance do tubo de luz natural, os modelos foram separados em seis grupos em função da: variação da inclinação do tubo, presença ou ausência de joelho, variação do comprimento do tubo e aumento da dimensão da seção do tubo.

As inclinações propostas para os tubos de luz natural consideram a “trajetória solar aparente” para a cidade de Vitória – ES, observando a maior altura solar, às 12h, nos solstícios de verão “a” e inverno “b” bem como nos equinócios de outono “c” e primavera “d”, como pode ser observado na **Figura 33**. Para os solstícios foram adotadas inclinações que impedem a incidência de radiação direta no difusor, no instante de maior altura solar.

**Figura 33.** Trajetória solar aparente, a partir de gráficos TropSolar: solstícios de verão “a” e inverno “b”; equinócios de outono “c” e primavera “d”.



Fonte: TropSolar (Cabús, 2015).

Quanto a variação do comprimento, esta foi baseada na construção de modelo de tubo de luz natural horizontal, cujo comprimento permitisse que o coletor estivesse para além de um beiral de 0,40m (medida usual de beiral em habitações de interesse social), evitando obstruções.

A variação da inclinação do tubo, presença ou ausência de joelho e variação do comprimento do tubo, permitiram gerar os dez primeiros modelos divididos em três grupos a saber, Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3.

Por fim, com vistas compreender a influência do aumento da porção coletora e da área de reflexão especular interna do sistema, tendo por base os dez primeiros modelos, dobra-se as dimensões das seções destes que passam a ter 0,4 x 0,4 m, originando outros dez modelos, também divididos em três grupos a saber, Grupo 4, Grupo 5 e Grupo 6.

Quanto aos joelhos, estes foram modelados com área interna de aproximadamente  $0.10\text{m}^2$  para os modelos de seção  $0.2 \times 0.2 \text{ m}$  e  $0.40\text{m}^2$  para os modelos de seção  $0.4 \times 0.4 \text{ m}$ , de forma a padronizar uma área mínima possível de reflexão interna desta porção.

A seguir são apresentadas características gerais dos grupos e os modelos que os compõem, separados em função da variação da inclinação do tubo, presença ou ausência de joelho, comprimento do tubo e aumento da seção da porção coletora e condutora:

- O Grupo 1 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,2m, seção  $0,2 \times 0,2 \text{ m}$ , inclinações de  $37^\circ$ ,  $69^\circ$  e  $103^\circ$ , sem joelho. Este grupo é composto por três modelos que podem ser visualizados no **Quadro 5**;
- O Grupo 2 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,2m, seção  $0,2 \times 0,2 \text{ m}$ , inclinações de  $37^\circ$ ,  $69^\circ$  e  $103^\circ$ , com joelho ( $0,10\text{m}^2$ ). Este grupo é composto por três modelos que podem ser visualizados no **Quadro 6**;
- O Grupo 3 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,65m, seção  $0,2 \times 0,2 \text{ m}$ , inclinações de  $0^\circ$ ,  $39^\circ$ ,  $69^\circ$  e  $101^\circ$ , com joelho ( $0,10\text{m}^2$ ). Este grupo é composto por quatro modelos que podem ser visualizados no **Quadro 7**.
- O Grupo 4 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,2m, seção  $0.4 \times 0.4 \text{ m}$ , inclinações de  $37^\circ$ ,  $69^\circ$  e  $103^\circ$ , sem joelho. Este grupo é composto por três modelos que podem ser visualizados no **Quadro 8**;
- O Grupo 5 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,2m, seção  $0.4 \times 0.4 \text{ m}$ , inclinações de  $37^\circ$ ,  $69^\circ$  e  $103^\circ$ , com joelho ( $0,40\text{m}^2$ ). Este grupo é composto por três modelos que podem ser visualizados no **Quadro 9**;
- O Grupo 6 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,65m, seção  $0.4 \times 0.4 \text{ m}$ , inclinações de  $0^\circ$ ,  $37^\circ$ ,  $69^\circ$  e  $103^\circ$ , com joelho ( $0,40\text{m}^2$ ). Este grupo é composto por quatro modelos que podem ser visualizados no **Quadro 10**.

Para facilitar a identificação dos modelos é estabelecido que o código dos mesmos é composto sequencialmente: número do modelo em algarismo arábico, acompanhado da letra “M”; número da fase em algarismo arábico, acompanhado da letra “F”; dentro de colchetes a indicação da inclinação expressa em graus; dentro de colchetes o comprimento expresso em metros; dentro de colchetes a dimensão da aresta da seção do tubo expressa em metros; presença da letra “J”, apenas quando o modelo possuir joelho. Quando necessário poderá ocorrer a omissão dos itens dentro de colchetes.

**Quadro 5. Modelos de tubos de luz natural Grupo 1.****GRUPO 1**

Grupo com três modelos de tubos de luz natural sem joelho.

M1/F1[37°/1.2x0.2m]	M2/F1[69°/1.2x0.2m]	M3/F1[103°/1.2x0.2m]

Modelos em perspectiva isométrica no software Troplux.

--	--	--

Fonte: Autor, 2024.

**Quadro 6. Modelos de tubos de luz natural Grupo 2.****GRUPO 2**

Grupo com três modelos de tubos de luz natural com acréscimo de joelho.

M4/F1[37°/1.2x0.2m/J]	M5/F1[69°/1.2x0.2m/J]	M6/F1[103°/1.2x0.2m/J]

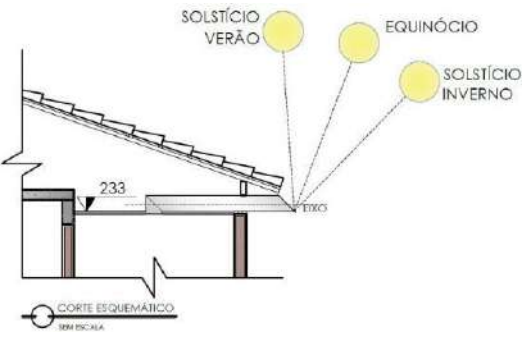
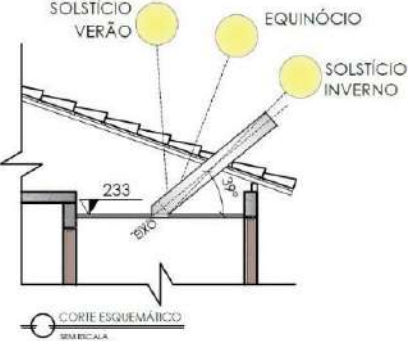
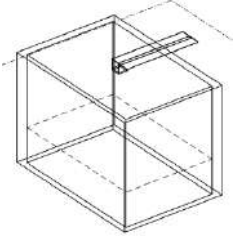
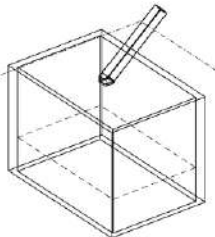
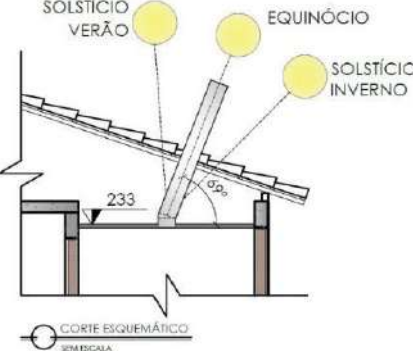
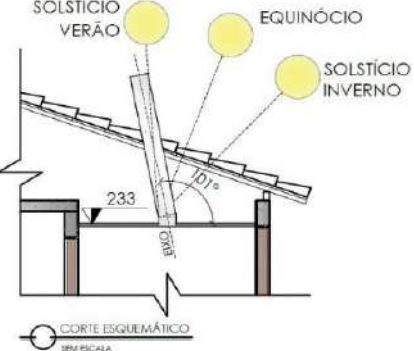
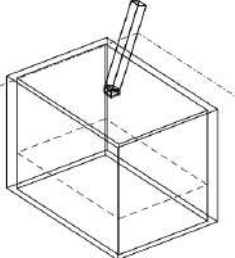
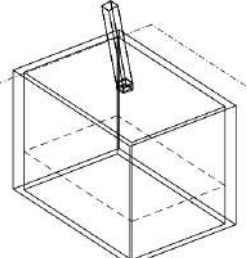
Modelos em perspectiva isométrica no software Troplux.

--	--	--

Fonte: Autor, 2024.

**Quadro 7.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 3.**GRUPO 3**

Grupo com quatro modelos de tubos de luz natural com joelho e aumento do comprimento do tubo.

M7/F1[0°/1.65x0.2m/J]	M8/F1[39°/1.65x0.2m/J]
	
Modelos em perspectiva isométrica no software Tropolux.	
	
M9/F1[69°/1.65x0.2m/J]	M10/F1[101°/1.65x0.2m/J]
	
Modelos em perspectiva isométrica no software Tropolux.	
	

Fonte: Autor, 2024.

**Quadro 8.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 4.

<b>GRUPO 4</b>		
Grupo com três modelos de tubos de luz natural sem joelho.		
<b>M11/F1[37°/1.2x0.4m]</b>	<b>M12/F1[69°/1.2x0.4m]</b>	<b>M13/F1[103°/1.2x0.4m]</b>
Modelos em perspectiva isométrica no software Tropolux.		

Fonte: Autor, 2024.

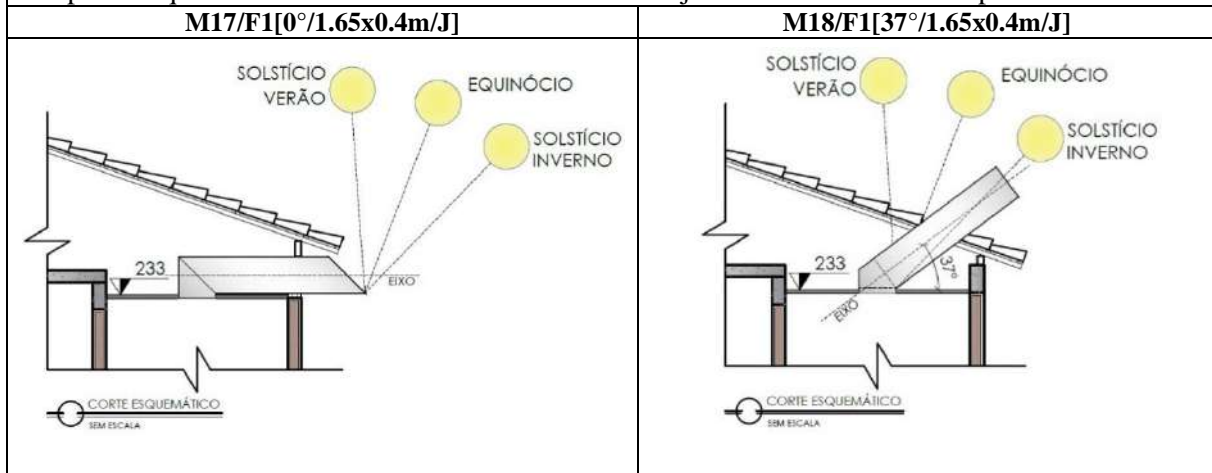
**Quadro 9.** Modelos de tubos de luz natural Grupo 5.

<b>GRUPO 5</b>		
Grupo com três modelos de tubos de luz natural com acréscimo de joelho.		
<b>M14/F1[37°/1.2x0.4m/J]</b>	<b>M15/F1[69°/1.2x0.4m/J]</b>	<b>M16/F1[103°/1.2x0.4m/J]</b>
Modelos em perspectiva isométrica no software Tropolux.		

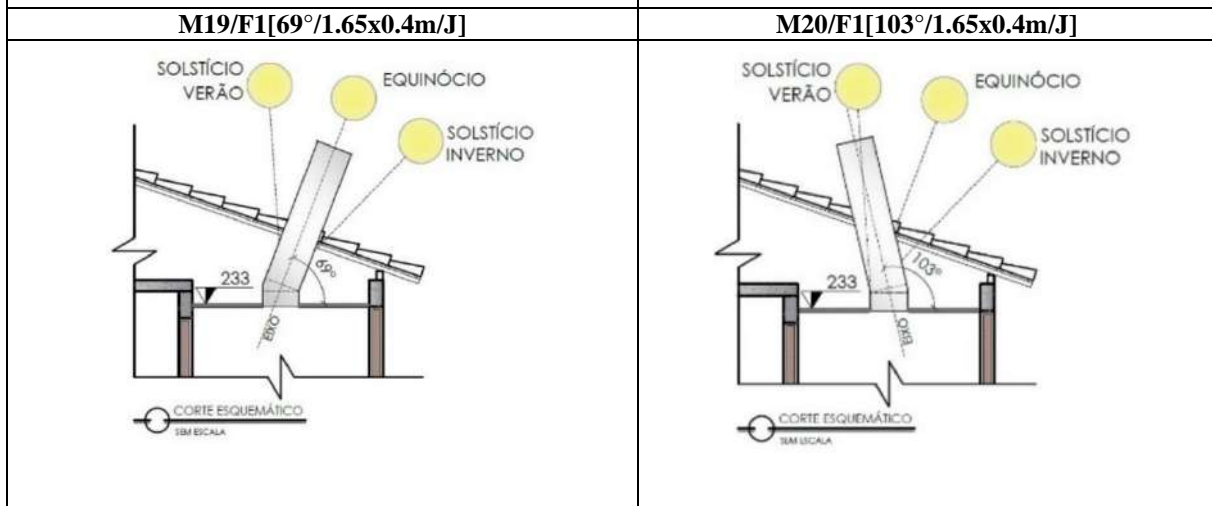
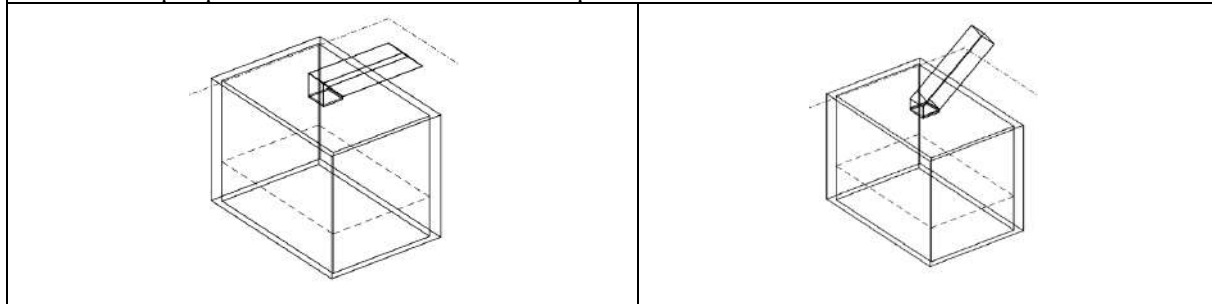
Fonte: Autor, 2024.

**Quadro 10. Modelos de tubos de luz natural Grupo 6.****GRUPO 6**

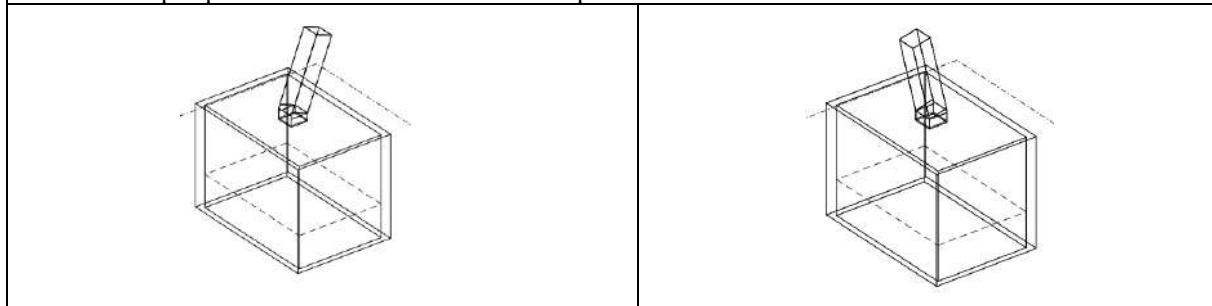
Grupo com quatro modelos de tubos de luz natural com joelho e aumento do comprimento do tubo.



Modelos em perspectiva isométrica no software Tropolux.



Modelos em perspectiva isométrica no software Tropolux.



Fonte: Autor, 2024.

### 3.3.4 Parâmetros das Simulações

As simulações na Fase 1 foram processadas a partir de vinte modelos construídos no software TropLux 8 (Cabús *et al.*, 2020), para os quais foram determinados os seguintes parâmetros:

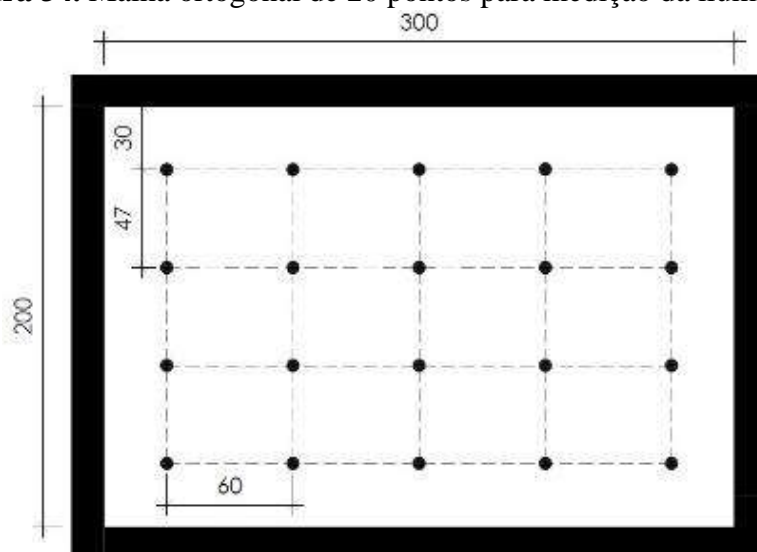
- céu com distribuição dinâmica para Vitória, estado do Espírito Santo, cidade que possui clima tropical úmido, localizada na latitude 20°19'10"S. A escolha desta localidade justifica-se por ser esta a capital do estado no Espírito Santo no qual distribuem-se as HIS que serviram de referência para a construção do modelo de cozinha e que são analisadas em estudo de caso.
- O intervalo das simulações está compreendido entre 7h30 e 17h30, totalizando 10 horas diárias simuladas, para todos os dias do ano.
- Proposta de orientação para Norte, tendo por base a posição do coletor do tubo de luz natural, sabendo que são desconsideradas as aberturas laterais. A orientação justifica-se pelo maior acesso da radiação solar direta na parte coletora do sistema.
- As refletâncias difusas das superfícies internas do ambiente compreendem os valores máximos indicados pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013). Para os tubos de luz natural são adotadas refletâncias especulares indicadas por fabricante do sistema. As refletâncias estão descritas no **Quadro 11**.
- Proposta de malha ortogonal prevista pela IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012), composta por 20 pontos de medição da iluminância e altura do plano de medição à 0,75m do piso. A distribuição dos pontos pode ser vista na **Figura 34**.

**Quadro 11.** Valores máximos de Refletância segundo a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

<b>Superfície</b>	<b>Refletância Difusa</b>
Piso	0,5
Parede	0,8
Teto	0,9
<b>Superfície</b>	<b>Refletância Especular</b>
Tubo	0,98

Fonte: Autor, 2024

**Figura 34.** Malha ortogonal de 20 pontos para medição da iluminância.



Fonte: Autor, 2024

### 3.3.5 Parâmetros para Análise dos Resultados

Para a análise dos resultados serão utilizados os parâmetros: Iluminância Útil de Luz Natural (IULN), Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe), Iluminância Média Anual (EMA), Uniformidade Média Anual (UMA), Exposição Solar Anual (ESA), e Curvas Isolux.

A IULN ou Useful Daylight Illuminances (UDI) é uma métrica proposta por Nabil e Mardaljevic (2005), que permite compreender o percentual de horas anuais em que a iluminância atinge valores dentro das faixas:  $E < 100$  (iluminância insuficiente);  $100 < E < 300$  (iluminância suficiente com necessidade de iluminação complementar);  $300 < E < 3000$  (iluminância suficiente);  $E > 3000$  (iluminância excessiva) (Mardaljevic *et al.* 2011). Nesta pesquisa, além da verificação dos percentuais para as faixas citadas anteriormente, serão analisados os percentuais para o intervalo útil ( $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ ), ao longo dos meses do ano.

A ALNe ou Spatial Daylight Autonomy (sDA), desenvolvida pela Illuminating Engineering Society of North America (2012), é definida como o percentual de área do plano de trabalho que atende a um valor mínimo de iluminância por luz natural, durante um determinado período de horas. A IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012) categoriza os percentuais encontrados sendo:  $\geq 75\%$  preferível;  $> 55\%$  aceitável;  $< 55\%$  insuficiente. Nesta

pesquisa admitem-se para ALNe os valores mínimos de 60lx, intermediário de 90lx e superior de 120lx, indicados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

A Iluminância Média Anual (EMA) permite analisar os valores médios de iluminância alcançados na área de trabalho durante o período de um ano. A NBR 15215 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013) adotam a iluminância como forma de avaliação, *in loco* ou através de simulações, verificando a disponibilidade de luz natural nos edifícios. Nesta pesquisa os resultados estão separados por estação do ano e posteriormente são ranqueados.

A UMA é dada pela razão entre o valor de iluminância mínima e iluminância média medida no plano de trabalho. Segundo a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), os valores obtidos não podem ser inferiores a 0,7 no plano de trabalho e 0,5 no entorno imediato. Nesta pesquisa os resultados são apresentados anualmente.

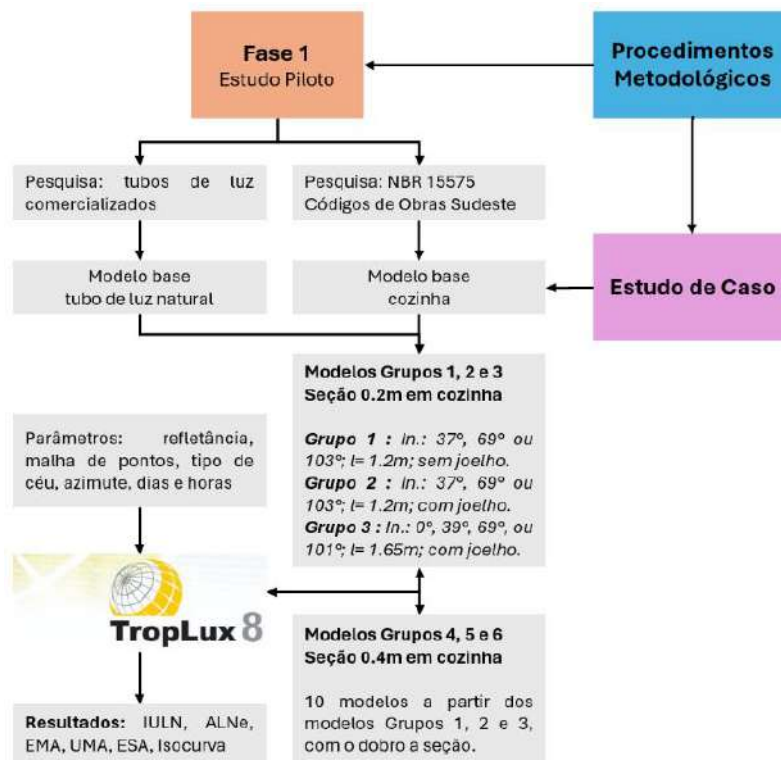
A ESA ou Annual Sunlight Exposure (ASE) foi proposta pela IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012). A métrica busca analisar a exposição solar direta, a partir da determinação percentual em que a componente de luz solar direta atinge os pontos de medição, registrando valores superiores a 1000 lx em mais de 250 horas por ano. A norma ainda estabelece faixas que classificam os resultados em aceitável < 3%, neutro < 7%, insatisfatório > 10% (Illuminating..., 2012).

A Curva Isolux permite a visualização espacial da distribuição das iluminâncias no plano de trabalho. Utilizando a lei do cosseno é possível determinar a quantidade de lux em um ponto, em função da distância da fonte luminosa. O levantamento dos valores de iluminância permite traçar curvas ao interligar pontos com os mesmos valores. Esta pesquisa apresenta a Curva Isolux construída com base nos valores obtidos para Autonomia de Luz Natural (ALN)

### 3.3.6 Síntese Fase 1

A seguir na **Figura 35**, pode ser visualizada parcela do organograma dos procedimentos metodológicos, que constitui e descreve as etapas de desenvolvimento da Fase 1.

**Figura 35.** Síntese do procedimento metodológico Fase 1.



Fonte: Autor, 2024.

## 3.4 FASE 2: VALIDAÇÃO DA PESQUISA

Esta fase busca compreender a influência da autoconstrução na disponibilidade de luz natural em ambientes de cozinha, a partir de simulações de modelos representativos de HIS que sofreram modificações arquitetônicas, como também investigar a contribuição da inserção de sistemas não convencionais de iluminação natural, como tubos de luz natural, para a disponibilidade de luz natural e a resiliência da habitação.

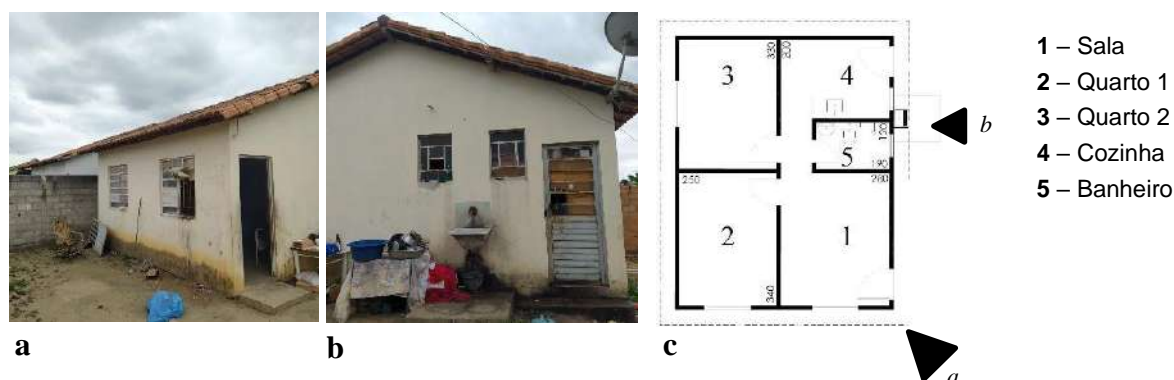
Para a compreensão da influencia da autoconstrução serão produzidos três modelos de cozinha definidos mediante estudo de caso, visita a campo e análise documental, de um conjunto habitacional unifamiliar de interesse social no município de Montanha, estado do Espírito Santo. Posteriormente, ao modelo de pior performance lumínica, serão inseridos tubos de luz

natural escolhidos dentre aqueles pertencentes à Fase 1, que apresentaram melhores performances, sendo um com seção de 0,2 m e um com seção de 0,4 m. Desta forma, a Fase 2 é constituída por cinco modelos divididos em dois grupos.

### 3.4.1 Levantamento e Definição do Ambiente de Cozinha

A cozinha das residências abordadas em estudo de caso e que é referência para a criação dos modelos, localiza-se no fundo da unidade, tendo por referência a fachada frontal. O ambiente possui área útil de 5,6m<sup>2</sup>, sendo o seu comprimento e largura 2,8m e 2m, respectivamente, como pode ser visto na **Figura 36**. Apesar de que as unidades não são entregues com o forro instalado, é possível prever a partir de projeto e visita a campo, pé-direito de aproximadamente 2,6m. As esquadrias, balsa e porta, localadas na mesma face do ambiente, constituem-se de vidro e estrutura metálica e estão descritas no **Quadro 12**.

**Figura 36.** Vista externa “a” e “b” indicadas e planta baixa de habitação de interesse social “c”, adotada no Espírito Santo, com destaque para o ambiente de cozinha.



Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 12.** Descrição das esquadrias da cozinha e WWR (*Window to Wall Ratio*).

<b>Porta</b>	0,80m x 2,10m (L x H)	0,80m <sup>2</sup> (área de vidro)	<b>WWR (porta e balsa)</b> 24,6%
<b>Balsa</b>	0,60m x 0,80m x 1,60m (L x H x P)	0,48m <sup>2</sup> (área de vidro)	

Fonte: Autores, 2024.

As aberturas das cozinhas estão orientadas de forma diversa, visto que o mesmo projeto é executado para distintas configurações de lote. O afastamento das fachadas laterais em relação aos limites do lote é geralmente maior para aquela onde inserem-se as portas de entrada de sala e cozinha e balsa de banheiro e cozinha. Esta disposição favorece a construção de garagem

e cobertura para área de serviço. As ampliações com cômodos geralmente ocorrem a partir da fachada voltada para o fundo de lote, enquanto que no afastamento frontal é comum a execução de varanda.

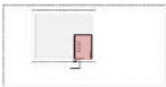

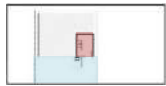


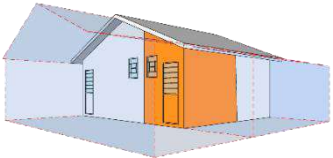
A execução de garagem na lateral e cômodo ao fundo, espaços contíguos à cozinha, podem interferir na disponibilidade de iluminação natural proveniente das aberturas laterais.

As informações levantadas em estudo de caso, visita a campo e análise documental, são utilizadas para a definição dos modelos de cozinha a seguir.

### 3.4.2 Características dos Modelos Fase 2 e Suas Variações

A partir de estudo de caso, visita a campo e análise documental, foram estabelecidos para as simulações modelos que representassem a cozinha, como também as recorrentes reformas contíguas a este ambiente. Desta forma, foram estruturados um modelo sem alterações e dois com intervenções, reunidos no Grupo 7, os quais podem ser visualizados no **Quadro 13**.

**Quadro 13.** Modelos para simulações: cozinha (em laranja) e os acréscimos (em azul).

<b>GRUPO 7</b>		
Modelos de cozinha com ou sem alterações contíguas à cozinha		
 <p><b>M21/F2[S]:</b> Sem alterações.</p>		<p>Representa a unidade habitacional quando entregue pela COHAB - ES, admitindo-se melhoramentos na cozinha (em laranja) tais como: forro PVC branco, azulejo branco nas paredes e piso de cimento queimado.</p>
 <p><b>M22/F2[G]:</b> acréscimo de garagem.</p>		<p>Soma-se ao modelo <b>M21/F2[S]</b> uma cobertura paralela às esquadrias da cozinha (em laranja), a partir da extensão do telhado até o limite do muro. Criam-se assim um espaço de garagem e área de serviço cobertos, com 3,30 m de largura, sem forro, com piso de cimento queimado e paredes brancas (em azul).</p>
 <p><b>M23/F2[G+C]:</b> acréscimo de garagem e cômodo.</p>		<p>Soma-se ao modelo <b>M22/F2[G]</b> um cômodo perpendicular às esquadrias da cozinha (em laranja), com largura de 2,50 m, assim como avanço da cobertura da área de serviço até o alinhamento lateral com o novo cômodo, da mesma forma, sem forro, piso de cimento queimado e paredes brancas (em azul).</p>

Fonte: Autores, 2024.

Com o intuito de simular os tubos de luz natural inseridos em um modelo de ambiente de cozinha que represente uma situação real, estrutura-se a partir dos resultados da Fase 1, como também dos modelos que compõem o Grupo 7 da Fase 2, os modelos que compõem o Grupo 8. Neste grupo, ao modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo contíguos, com aberturas direcionadas para leste, inserem-se modelos de tubo de luz natural que apresentaram melhores performances na Fase 1. O Grupo 8 é composto por dois modelos que podem ser visualizados no **Quadro 14**.

**Quadro 14.** Modelos para simulações: tubos de luz natural Fase 1, inseridos em cozinha com acréscimo de garagem e cômodo contíguos do Grupo 7, da Fase 2.

<b>GRUPO 8</b>		
Modelos de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo com acréscimo de tubo de luz natural.		
<b>M24/F2[G+C+M5]</b>		
		<p>Soma-se ao modelo de cozinha <b>M23/F2[G+C]</b>, com aberturas laterais para leste, tubo de luz natural, modelo <b>M5/F1[69°/1.2x0.2m/J]</b>, que apresentou melhor performance na Fase 1, dentre os grupos 1, 2 e 3.</p>
<b>M25/F2[G+C+M15]</b>		
		<p>Soma-se ao modelo de cozinha <b>M23/F2[G+C]</b>, tubo de luz natural, com aberturas laterais para leste, modelo <b>M15/F1[69°/1.2x0.4m/J]</b>, que apresentou melhor performance na Fase 1, dentre os grupos 4, 5 e 6.</p>

Fonte: Autores, 2024.

### 3.4.3 Parâmetros das Simulações

As simulações na Fase 2 foram processadas a partir de modelos construídos no software TropLux 8 (Cabús *et al.*, 2020), para os quais foram determinados os seguintes parâmetros:

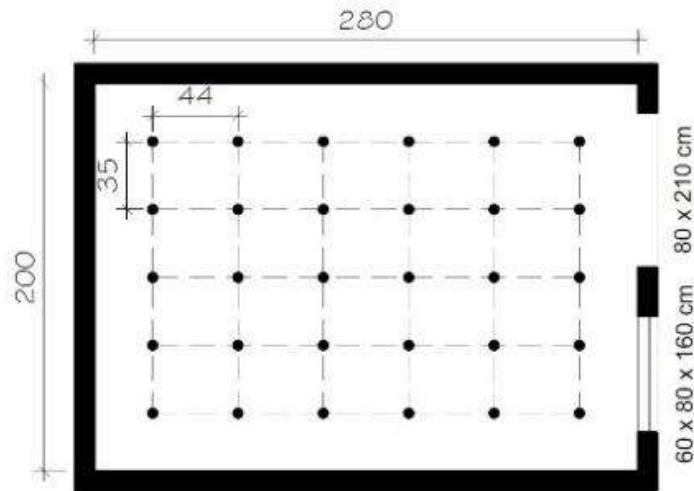
- Céu com distribuição dinâmica para Vitória, estado do Espírito Santo, cidade que possui clima tropical úmido e localiza-se na latitude 20°19'10"S. A escolha desta localidade justifica-se por ser próxima a cidade de Montanha – ES, onde localizam-se as residências investigadas em estudo de caso.
- O intervalo das simulações está compreendido entre 7h30 e 17h30, totalizando 10 horas diárias simuladas, para todos os dias do ano.
- Proposta de orientação dos modelos do Grupo 7 para Norte, Sul, Leste, Oeste, visto que as unidades, apesar de iguais, possuem orientação diversa.
- Proposta de orientação dos modelos do Grupo 8, com tubo de luz natural para Norte e aberturas laterais para Leste. A orientação do tubo para Norte tem por base a posição do coletor do tubo de luz natural, justificada pelo maior acesso da radiação solar direta nesta porção do sistema. Quanto a orientação das aberturas para Leste, justifica-se pelo fato de que, no período de inverno, esta orientação proporciona maiores ganhos lumínicos na faixa útil de IULN para o modelo M23/F2[G+C].
- Para as superfícies dos modelos foram adotadas refletâncias conforme a prática usual de acabamentos. Para isto, buscou-se uma maior aproximação dos valores de refletância com características similares aos materiais encontrados nas residências do conjunto habitacional. As refletâncias estão descritas no **Quadro 15**.
- Proposta de malha ortogonal prevista pela IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012), composta por 20 pontos de medição da iluminância e altura do plano de medição à 0,75m do piso. A distribuição dos pontos pode ser vista na **Figura 37**.

**Quadro 15.** Refletâncias adotadas para superfícies dos modelos.

<b>Valores de Refletância</b>			
<b>Ambiente</b>	<b>Superfície</b>	<b>Material</b>	<b>Valor (%)</b>
Cozinha	Piso	Cimento queimado	40 difusa
Cozinha	Teto	PVC branco	85 difusa
Cozinha	Parede	Azulejo branco	70 difusa
Externo	Piso	Cimento queimado	40 difusa
Externo	Teto	Telha escura	20 difusa
Externo	Parede	Pintura branca	85 difusa
Tubo de luz natural	Tubo	Reflexivo	98 especular

Fonte: Autores, 2024.

**Figura 37.** Malha ortogonal de 20 pontos para medição da iluminância.



Fonte: Autores, 2024.

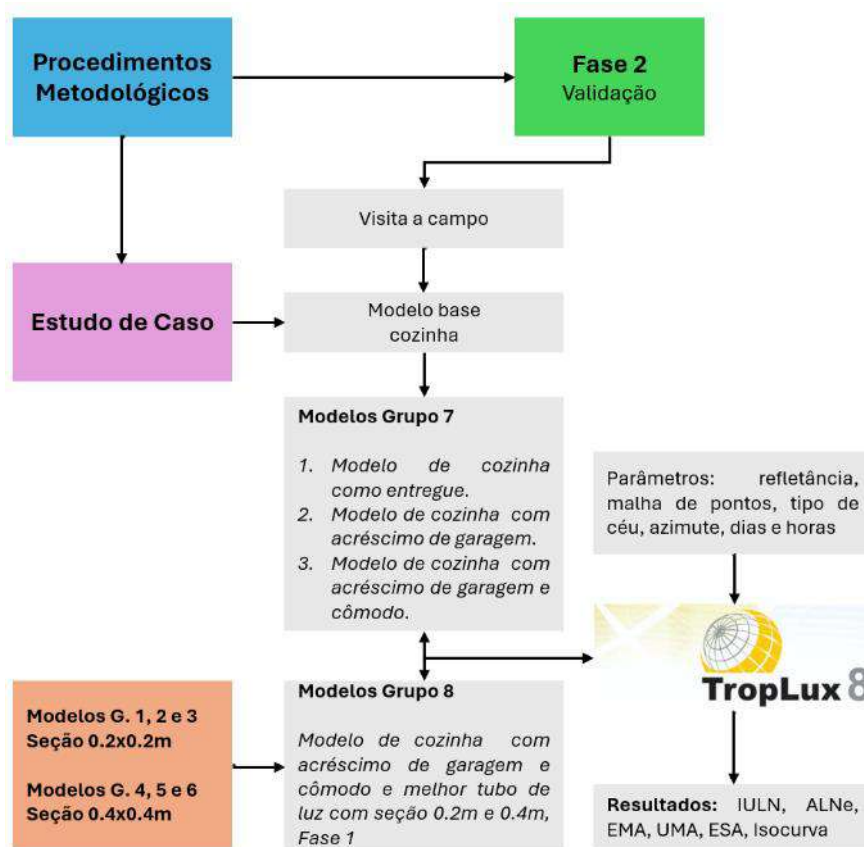
#### 3.4.4 Parâmetros para Análise dos Resultados

Para a análise dos resultados, da mesma forma que na Fase 1, serão utilizados os parâmetros: Iluminância Útil de Luz Natural (IULN), Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe), Iluminância Média Anual (EMA), Uniformidade Média Anual (UMA), Exposição Solar Anual (ESA), e Curvas Isolux.

### 3.4.5 Síntese Fase 2

A seguir na **Figura 38**, pode ser visualizada parcela do organograma dos procedimentos metodológicos, que constitui e descreve as etapas de desenvolvimento da Fase 2.

**Figura 38.** Síntese do procedimento metodológico Fase 2.



Fonte: Autores, 2024.

4.1 Análise Fase 1

4.2 Análise Fase 2

# 4

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta as análises dos resultados das simulações realizadas no software TropLux 8, divididas em duas fases, que permitirão estabelecer investigações entre diversos modelos.

Sendo assim, na análise da Fase 1 é possível compreender a disponibilidade de luz natural e influência do comprimento, da inclinação e adição de joelho, na performance lumínica de tubos de luz natural em cozinha, a partir de dez modelos. Em um segundo momento, investiga-se o aumento da dimensão da seção do tubo, com consequente aumento da área de reflexão especular do sistema, a partir de outros dez modelos.

Na análise da Fase 2, busca-se diagnosticar a influência da autoconstrução na disponibilidade de luz natural no ambiente interno, a partir da análise de 3 modelos de cozinha sem e com acréscimo de área contigua ao ambiente. Em um segundo momento, investiga-se as contribuições da inserção dos tubos de luz natural que obtiveram as melhores performances lumínicas nas Fase 1, a partir da análise de 2 modelos.

Para a análise dos resultados serão utilizados os parâmetros: Iluminância Útil de Luz Natural (IULN), Autonomia de Luz Natural Espacial (ALNe), Iluminância Média Anual (EMA), Uniformidade Média Anual (UMA), Exposição Solar Anual (ESA), e Curvas Isolux.

### 4.1 ANÁLISE FASE 1

A análise da Fase 1 realiza-se para vinte modelos, divididos em seis grupos, com vistas a análise da performance de tubos de luz natural aplicados a cozinha, assim como a investigação da influência das partes que compõem o sistema a saber, comprimento e dimensão da seção do tubo, adição de joelho, como também a inclinação.

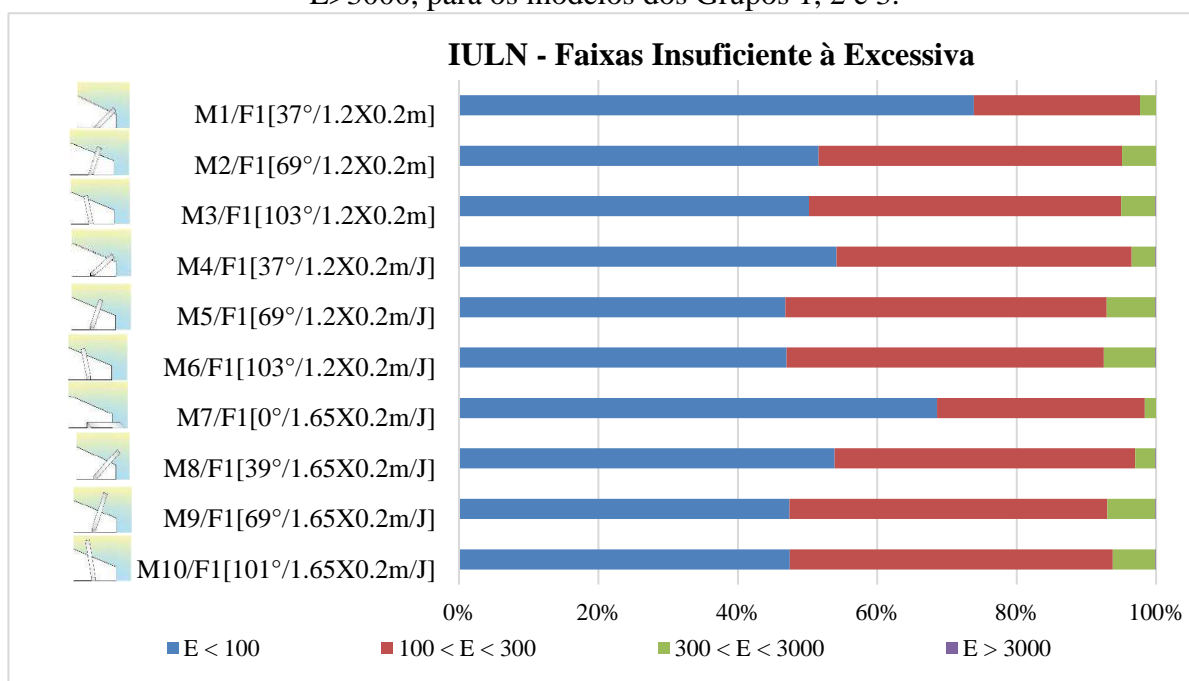
#### 4.1.1 Análises e Resultados IULN

A **Gráfico 1** apresenta percentuais anuais segundo os intervalos de IULN, para os modelos do Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3. É possível observar que os modelos com menor inclinação ( $0^\circ$ ,  $37^\circ$  e  $39^\circ$ ) apresentam os piores resultados, visto que o intervalo insuficiente ( $E < 100$ ) chega a quase 75%, dos quais a pior performance é observada no modelo “M1/F1[ $37^\circ/1.2 \times 0.2\text{m}$ ]”. Por outro lado, os modelos com maior inclinação ( $69^\circ$ ,  $101^\circ$  e  $103^\circ$ ),

sobretudo os que possuem joelho, apresentam as melhores performances com aumento de até 15% no intervalo  $100 < E < 300$  (iluminância suficiente com necessidade de iluminação complementar) e de até 5% no intervalo  $300 < E < 3000$  (iluminância suficiente).

Dessa forma, é possível concluir que a adoção de tubos de iluminação natural com maiores inclinações ( $69^\circ$ ,  $101^\circ$  e  $103^\circ$ ), associadas a joelhos, melhoram a performance lumínica do ambiente interno demandando menor quantidade de iluminação artificial. Ademais os percentuais para o intervalo excessivo são insignificantes, isso provavelmente em função da geometria do tubo, que por possuir uma parcela condutora alongada, que dificulta a incidência de radiação solar direta.

**Gráfico 1.** Percentuais anuais de IULN para as faixas  $E < 100$ ,  $100 < E < 300$ ,  $300 < E < 3000$  e  $E > 3000$ , para os modelos dos Grupos 1, 2 e 3.



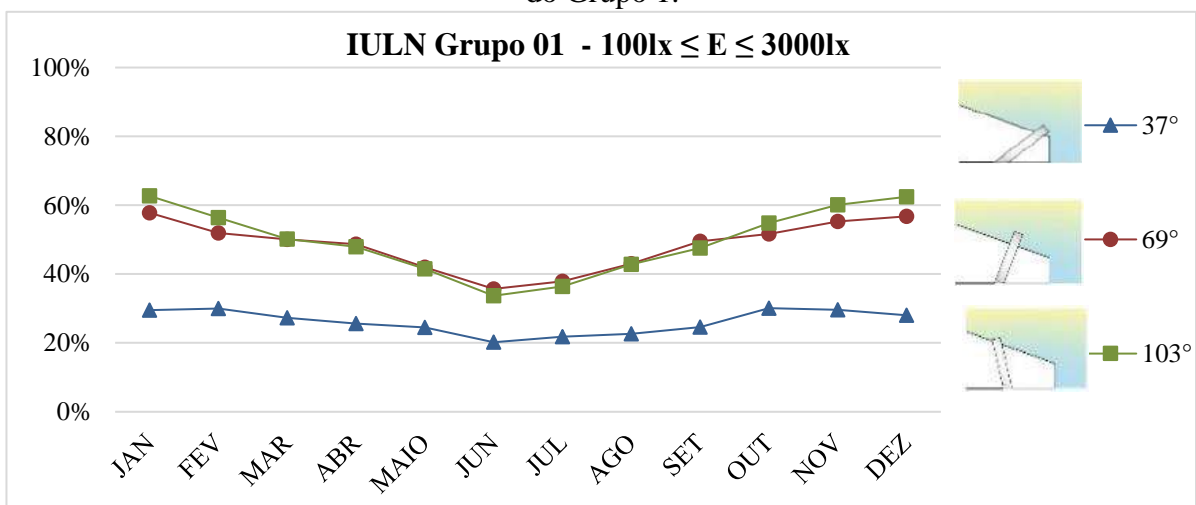
Ainda sobre os modelos dos grupos G1, G2 e G3, o **Gráfico 2**, **Gráfico 3** e **Gráfico 4**, apresentam resultados mensais de IULN, faixa útil ( $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ ), demonstrando as alterações de performance dos modelos destes grupos ao longo do ano, em função de diferentes alturas solares.

De uma forma geral, os modelos de maior inclinação obtiveram melhor performance ao longo do ano, dos quais os modelos do Grupo 2 (tubo de luz natural com acréscimo de joelho) apresentam os melhores resultados. No entanto, nos meses de menor altura solar é possível observar que estes mesmos modelos tiveram um decaimento em torno de 30%, provavelmente

decorrente do ângulo de incidência da radiação solar direta na porção coletora, com consequente aumento do número de reflexões internas na porção condutora.

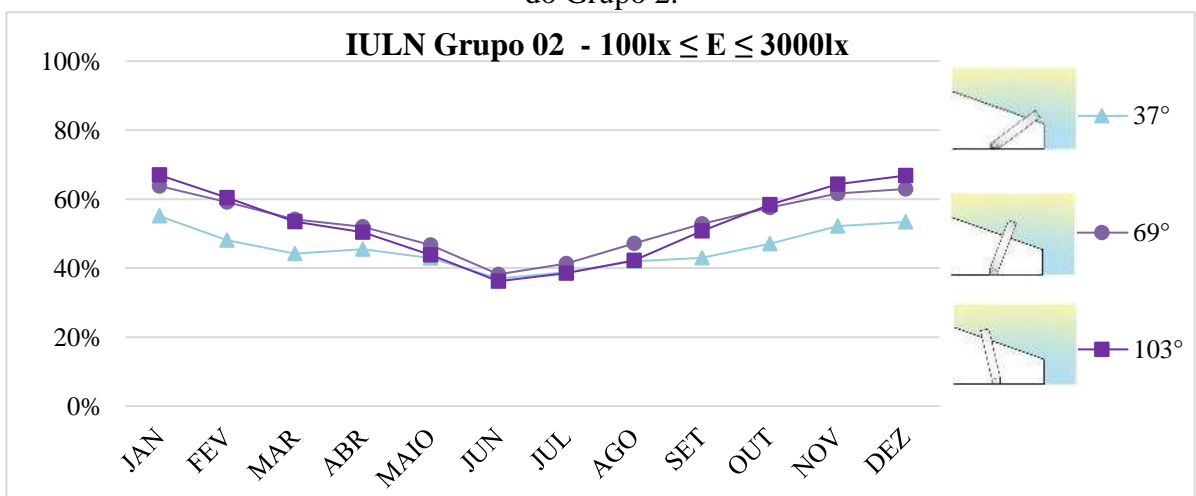
Por outro lado, os modelos de menor inclinação possuem a pior performance ao longo do ano, dos quais o modelo com pior resultado é o “M1/F1[37°/1.2x0.2m]”, juntamente com o modelo “M7/F1[0°/1.65x0.2m]” o qual apresenta decaimento bastante expressivo nos meses de maior altura solar, provavelmente decorrente do maior número de reflexões internas na porção condutora, devido o ângulo de incidência da radiação solar direta no coletor do tubo.

**Gráfico 2.** Percentuais mensais de IULN, faixa útil ( $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ ), para três modelos do Grupo 1.



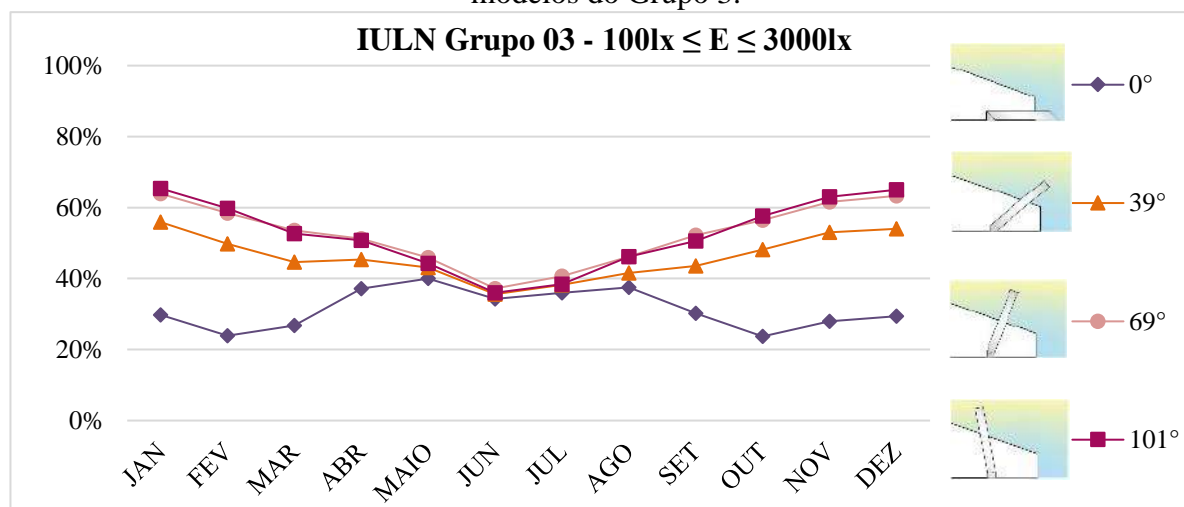
Fonte: Autores, 2024.

**Gráfico 3.** Percentuais mensais de IULN, faixa útil ( $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ ), para três modelos do Grupo 2.



Fonte: Autores, 2024.

**Gráfico 4.** Percentuais mensais de IULN, faixa útil ( $100lx \leq E \leq 3000lx$ ), para quatro modelos do Grupo 3.



Fonte: Autores, 2024.

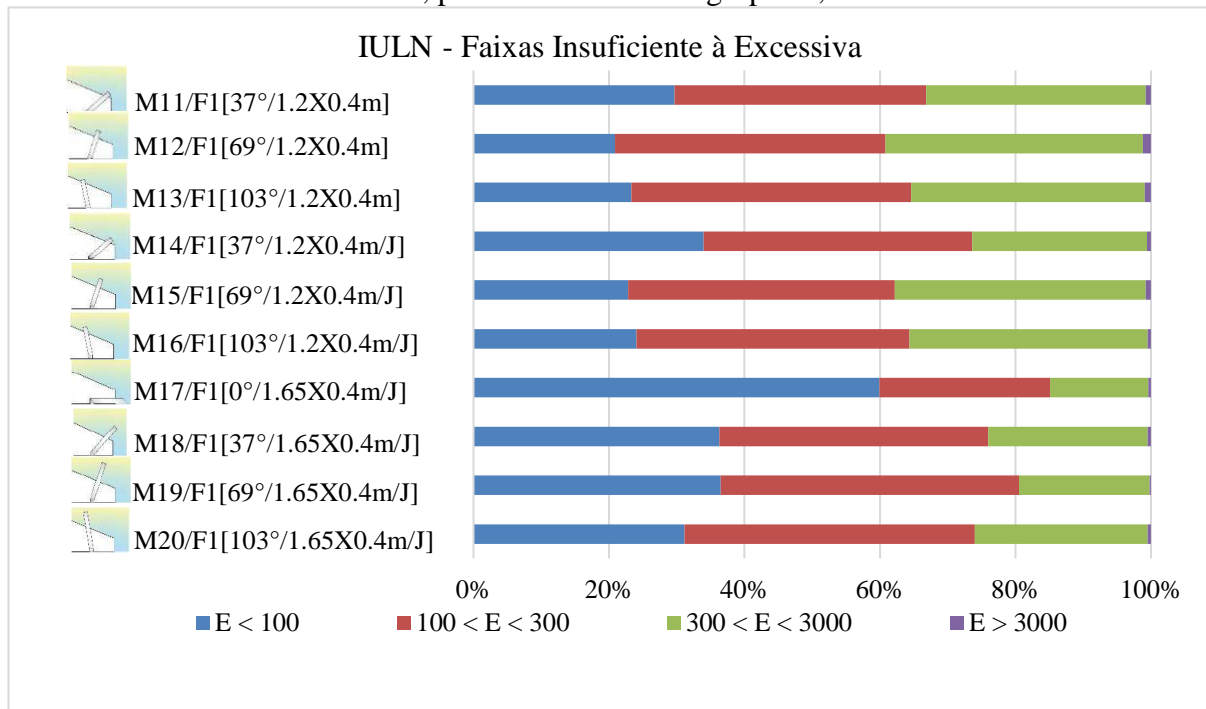
Quanto aos modelos do Grupo 4, Grupo 5 e Grupo 6, com aumento da seção do tubo, o **Gráfico 5** apresenta percentuais anuais para os intervalos de IULN. É possível perceber que o aumento da seção do tubo de luz natural contribuiu com a diminuição do percentual da faixa insuficiente em até 49% e aumento dos percentuais nas faixas  $100 < E < 300$  e  $300 < E < 3000$ .

Outrossim, é possível observar que os modelos com menor inclinação ( $0^\circ$ ,  $37^\circ$ ), semelhantemente aos modelos dos grupos G1, G2 e G3, também apresentam os piores resultados, mesmo após o aumento da seção do tubo, visto que o intervalo insuficiente ( $E < 100$ ) chega a quase 60%, dos quais a pior performance é observada no modelo “M17/F1[ $0^\circ/1.65 \times 0.4m$ ]”, tubo de luz horizontal. Por outro lado, os modelos com maior inclinação ( $69^\circ$  e  $103^\circ$ ), apresentam as melhores performances com aumento de até 19% no intervalo  $100 < E < 300$  (iluminância suficiente com necessidade de iluminação complementar) e de até 11% no intervalo  $300 < E < 3000$  (iluminância suficiente).

A adição de Joelho nos modelos com aumento de seção do tubo, não contribuiu com ganhos lumínicos. Modelos sem Joelho apresentaram melhores resultados, apesar do ganho pouco expressivo. Para estes grupos os percentuais para o intervalo excessivo também são insignificantes, isso provavelmente em função da geometria do tubo.

Dessa forma, é possível concluir que, como esperado, a adoção de tubos de iluminação natural com maior dimensão da seção e maiores inclinações ( $69^\circ$  e  $103^\circ$ ), podem melhorar a performance lumínica do ambiente interno, demandando menor quantidade de iluminação artificial.

**Gráfico 5.** Percentuais anuais de IULN para as faixas  $E < 100$ ,  $100 < E < 300$ ,  $300 < E < 3000$  e  $E > 3000$ , para os modelos dos grupos 4, 5 e 6.



Fonte: Autores, 2024.

#### 4.1.2 Análises e Resultados ALNe

A **Tabela 1** apresenta percentuais de ALNe, tendo por referência o valor limite de 60lx, para os modelos do Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3. Para todos os modelos é possível observar intervalos de horas, no início da manhã e final da tarde, com performance insuficiente, acarretando grande demanda de iluminação artificial para a realização das atividades. Isto provavelmente é decorrente do fato de que nestes horários a altura solar é menor, dificultando o acesso da parcela da radiação solar direta através da porção coletora. Por outro lado, a performance dos modelos melhora nos demais horários de maior altura solar, no qual apenas para modelo “M1/F1[37°/1.2X0.2m]”, observa-se uma performance inferior em outros horários do dia (8h30; 15h30), entretanto em nível aceitável. Isso provavelmente é decorrente de que este modelo não dispõe de Joelho, já que é observada uma melhora de performance nos modelos aos quais foram adicionados este elemento, provavelmente em função do direcionamento da luz refletida por esta porção do tubo. Assim, é possível constatar que o uso do tubo de luz natural garante cerca de 5 a 8 horas do dia com 100% da área de trabalho provida de iluminância mínima de 60lx.

**Tabela 1.** Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 60lx, para G1, G2 e G3.

MODELO / HORA		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
M1/F1[37°/1.2X0.2m]		0	65	100	100	100	100	100	85	60	0	0
M2/F1[69°/1.2X0.2m]		5	100	100	100	100	100	100	100	100	5	0
M3/F1[103°/1.2X0.2m]		10	100	100	100	100	100	100	100	95	10	0
M4/F1[37°/1.2X0.2m/J]		5	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0
M5/F1[69°/1.2X0.2m/J]		10	100	100	100	100	100	100	100	100	10	0
M6/F1[103°/1.2X0.2m/J]		10	100	100	100	100	100	100	100	100	10	0
M7/F1[0°/1.65X0.2m/J]		0	90	100	100	100	100	100	100	90	0	0
M8/F1[39°/1.65X0.2m/J]		0	95	100	100	100	100	100	100	100	5	0
M9/F1[69°/1.65X0.2m/J]		10	100	100	100	100	100	100	100	100	10	0
M10/F1[101°/1.65X0.4m/J]		10	100	100	100	100	100	100	100	100	10	0

ESCALA	100	90	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0
--------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---

Fonte: Autores, 2024.

Analisando ainda os grupos G1, G2 e G3, a **Tabela 2** e **Tabela 3** apresentam percentuais de ALNe, tendo por referência os valores limites intermediário e superior, respectivamente 90lux e 120lux. Como já era esperado, há uma redução da quantidade de horas que se consegue garantir 100% da área de trabalho para valores limites.

É possível verificar que os modelos de menor inclinação “M1/F1[37°/1.2X0.2m]” e “M7/F1[0°/1.65X0.2m/J]” (horizontal) apresentam performance inferior em todos os horários simulados. Quando a análise é realizada por grupos, pode-se observar que os modelos do grupo G2 (com joelho – 1.2m) e G3 (com joelho – 1.65m) obtiveram melhores resultados, com melhoras de performance em até 60%, se comparados ao grupo G1 (sem joelho – 1.2m). Esta melhora da performance, provavelmente decorre da mudança de direção da luz refletida por meio do joelho, permitindo a incidência da luz de forma mais ampla no plano de trabalho.

Quanto à diferença de comprimento, tubos mais compridos, Grupo 3, apresentaram um decaimento pouco expressivo (5%), o que provavelmente é decorrente do aumento de reflexões da luz na parte interna do tubo (porção condutora).

Quanto à variação da inclinação, esta mostrou-se mais determinante para a performance dos modelos, nos quais modelos com menor inclinação (0°, 37° e 39°) apresentaram os piores resultados, com ocorrências de até 80% de decaimento da área suprida por iluminância de 90lx e 120lx. Isto se confirma com as piores performances obtidas pelos modelos “M1/F1[37°/1.2X0.2m]” e “M7/F1[0°/1.65X0.2m/J]”. Desta forma, podendo ser a inclinação

o fator mais preponderante para uma melhor performance do tubo, esta deve ser definida a partir da compreensão das trajetórias solares.

**Tabela 2.** Percentuais de ALNe sob nível intermediário de 90lx, para G1, G2 e G3.

MODELO / HORA		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
M1/F1[37°/1.2X0.2m]		0	0	55	70	70	85	65	55	0	0	0
M2/F1[69°/1.2X0.2m]		0	50	95	100	100	100	100	100	60	0	0
M3/F1[103°/1.2X0.2m]		0	35	100	100	100	100	100	100	40	0	0
M4/F1[37°/1.2X0.2m/J]		0	60	100	100	100	100	100	100	55	0	0
M5/F1[69°/1.2X0.2m/J]		0	85	100	100	100	100	100	100	90	0	0
M6/F1[103°/1.2X0.2m/J]		0	65	100	100	100	100	100	100	70	0	0
M7/F1[0°/1.65X0.2m/J]		0	5	60	90	90	90	95	65	0	0	0
M8/F1[39°/1.65X0.2m/J]		0	50	90	100	100	100	100	100	65	0	0
M9/F1[69°/1.65X0.2m/J]		0	75	100	100	100	100	100	100	65	0	0
M10/F1[101°/1.65X0.4m/J]		0	75	100	100	100	100	100	100	60	0	0

ESCALA	100	90	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0
--------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---

Fonte: Autores, 2024.

**Tabela 3.** Percentuais de ALNe sob nível superior de 120lx, para G1, G2 e G3.

MODELO / HORA		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
M1/F1[37°/1.2X0.2m]		0	0	5	40	50	45	35	5	0	0	0
M2/F1[69°/1.2X0.2m]		0	5	80	95	100	95	85	70	10	0	0
M3/F1[103°/1.2X0.2m]		0	0	65	85	95	95	80	75	5	0	0
M4/F1[37°/1.2X0.2m/J]		0	0	60	90	95	95	80	65	0	0	0
M5/F1[69°/1.2X0.2m/J]		0	25	90	95	100	100	100	90	20	0	0
M6/F1[103°/1.2X0.2m/J]		0	15	90	100	100	100	95	80	10	0	0
M7/F1[0°/1.65X0.2m/J]		0	0	10	25	60	55	35	10	0	0	0
M8/F1[39°/1.65X0.2m/J]		0	0	55	85	85	95	80	65	0	0	0
M9/F1[69°/1.65X0.2m/J]		0	20	85	90	95	95	85	85	15	0	0
M10/F1[101°/1.65X0.4m/J]		0	5	85	95	100	100	100	75	10	0	0

ESCALA	100	90	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0
--------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---	---

Fonte: Autores, 2024.

Quanto as análises dos grupos Grupo 4, Grupo 5 e Grupo 6, modelos que sofreram aumento da seção do tubo, a **Tabela 4**, **Tabela 5** e **Tabela 6** apresentam percentuais de ALNe, tendo por referência os valores limites de 60lx, 90lx e 120lx, respectivamente. Para todos os modelos é possível observar intervalo de hora, sobretudo no final da tarde, com performance insuficiente, acarretando grande demanda de iluminação artificial para a realização das atividades. Isto provavelmente é decorrente do fato de que nestes horários a altura solar é menor, dificultando o acesso da parcela da radiação solar direta na porção coletora do tubo, além de que o ângulo de incidência da radiação favorece um maior número de reflexões na porção condutora. Apesar disto, a performance dos modelos melhora nos demais horários de maior altura solar.

Como esperado, à medida que há aumento dos valores limites, há uma redução da quantidade de horas em que se consegue garantir 100% da área de trabalho atendida pelo valor estabelecido. Neste sentido é possível constatar que há uma diminuição gradativa de no mínimo 1 hora com o aumento dos limites de 60lx para 90lx e 90lx para 120lx.

Categorizando os percentuais encontrados para ALNe, sendo  $\geq 75\%$  preferível;  $> 55\%$  aceitável;  $< 55\%$  insuficiente, segundo a IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012), verifica-se para a categoria  $> 55\%$  aceitável que os tubos de luz natural atendem em: 7 a 9 horas para o limite de 60lx; 6 a 9 horas para o limite de 90lx; 3 a 8 horas para o limite de 120lx.

**Tabela 4.** Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 60lx, para os grupos G4, G5 e G6.

MODELO / HORA		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
M11/F1[37°/1.2X0.4m]		90	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	
M12/F1[69°/1.2X0.4m]		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	
M13/F1[103°/1.2X0.4m]		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	
M14/F1[37°/1.2X0.4m/J]		25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	25	
M15/F1[69°/1.2X0.4m/J]		45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	60	
M16/F1[103°/1.2X0.4m/J]		100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	0	
M17/F1[0°/1.65X0.4m/J]		0	65	100	100	100	100	100	100	100	55	0	
M18/F1[37°/1.65X0.4m/J]		15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	20	
M19/F1[69°/1.65X0.4m/J]		5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	5	
M20/F1[103°/1.65X0.4m/J]		10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10	
<b>ESCALA</b>		100	95	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0

Fonte: Autores, 2024.

**Tabela 5.** Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 90lx, para os grupos G4, G5 e G6.

MODELO / HORA		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
M11/F1[37°/1.2X0.4m]		50	100	100	100	100	100	100	100	100	45	0	
M12/F1[69°/1.2X0.4m]		90	100	100	100	100	100	100	100	100	95	0	
M13/F1[103°/1.2X0.4m]		40	100	100	100	100	100	100	100	100	40	0	
M14/F1[37°/1.2X0.4m/J]		0	100	100	100	100	100	100	100	100	95	0	
M15/F1[69°/1.2X0.4m/J]		0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	
M16/F1[103°/1.2X0.4m/J]		30	100	100	100	100	100	100	100	100	40	0	
M17/F1[0°/1.65X0.4m/J]		0	10	70	85	100	100	95	85	75	10	0	
M18/F1[37°/1.65X0.4m/J]		0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	
M19/F1[69°/1.65X0.4m/J]		0	100	100	100	100	100	100	100	100	90	0	
M20/F1[103°/1.65X0.4m/J]		0	60	100	100	100	100	100	100	100	50	0	
<b>ESCALA</b>		100	95	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0

Fonte: Autores, 2024.

**Tabela 6.** Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 120lx, para os grupos G4, G5 e G6.

MODELO / HORA		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
M11/F1[37°/1.2X0.4m]		25	100	100	100	100	100	100	100	100	25	0	
M12/F1[69°/1.2X0.4m]		5	100	100	100	100	100	100	100	100	15	0	
M13/F1[103°/1.2X0.4m]		5	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	
M14/F1[37°/1.2X0.4m/J]		0	60	100	100	100	100	100	100	100	75	0	
M15/F1[69°/1.2X0.4m/J]		0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	
M16/F1[103°/1.2X0.4m/J]		0	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	
M17/F1[0°/1.65X0.4m/J]		0	0	25	65	80	80	80	55	20	5	0	
M18/F1[37°/1.65X0.4m/J]		0	30	100	100	100	100	100	100	100	40	0	
M19/F1[69°/1.65X0.4m/J]		0	45	100	100	100	100	100	100	100	35	0	
M20/F1[103°/1.65X0.4m/J]		0	10	100	100	100	100	100	100	100	10	0	
<b>ESCALA</b>		100	95	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0

Fonte: Autores, 2024.

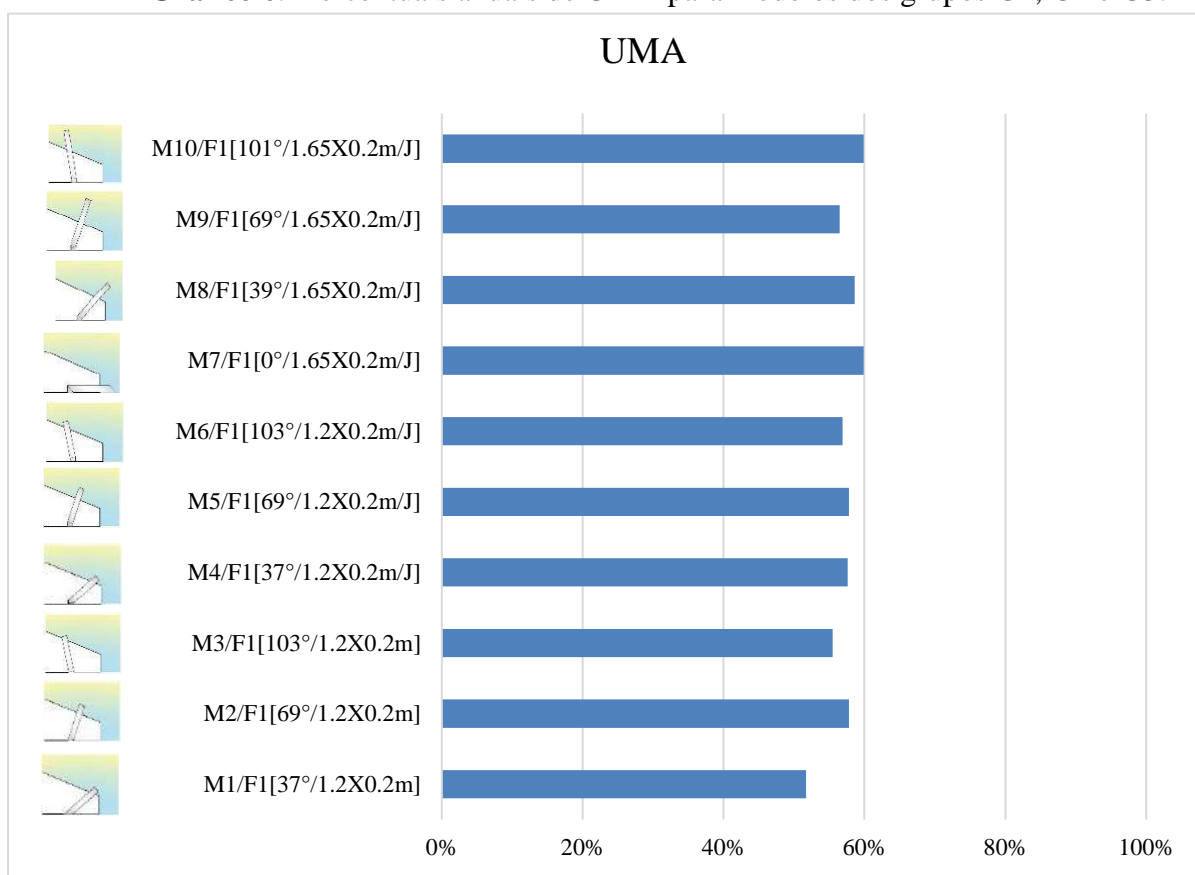
Quanto aos modelos de tubo de luz natural, “M17/F1[0°/1.65X0.4m/J]” apresenta uma performance insuficiente em mais horários do dia. Isso provavelmente é decorrente de sua

posição horizontal, que em determinadas épocas do ano experimenta um menor acesso da radiação solar direta na porção coletora. Além disso, sua inclinação pode gerar um maior número de reflexões internas, diminuindo assim sua performance. “M17/F1[0°/1.65X0.4m/J]” consegue atender de 3 a 7 horas à categoria > 55% aceitável, para os limites de 60lx, 90lx e 120lx. Por outro lado, o modelo “M15/F1[69°/1.2X0.4m/J]” consegue atender em 100% durante 8 horas o limite 120lx (superior).

O aumento da dimensão da seção do tubo de luz natural contribuir com uma melhor performance, visto que uma maior quantidade de horas é atendida com valores a partir da categoria > 55% aceitável: até 2 horas a mais para o limite 60lx; até 3 horas a mais para o limite 90lx; até 7 horas a mais para o limite 120lx. Esta melhora da performance provavelmente decorre do maior acesso da luz natural pela porção coletora, e diminuição do número de reflexões da luz na porção condutora.

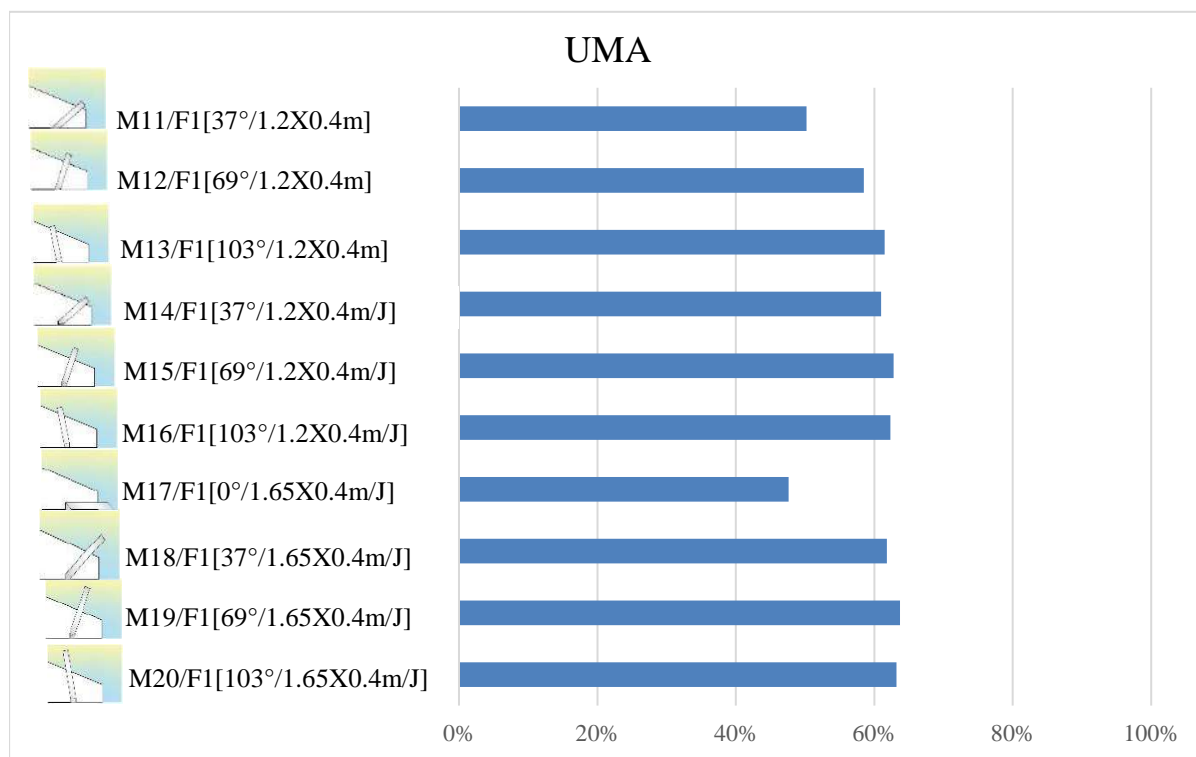
#### 4.1.3 Análises e Resultados UMA

No que diz respeito a UMA, para os modelos do Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3, como pode ser observado no **Gráfico 6**, nenhum modelo conseguiu atingir a uniformidade da iluminância mínima de 0,7 ou 70% para o plano de trabalho, estabelecido pela NBR ISO/CIE 8.995-1 (ABNT, 2013). Isto provavelmente é decorrente de uma maior iluminância no centro da malha de pontos, favorecida pela posição do tubo de luz natural. Para esta métrica, os modelos com melhores resultados pertencem ao Grupo 3 (com joelho – 1.65m), provavelmente pela diminuição da intensidade da iluminância no centro da malha, decorrente do aumento do número de reflexões internas, devido um maior comprimento da porção condutora. Apesar do modelo “M7/F1[0°/1.2X0.4m/J]” (tubo de luz natural horizontal) apresentar melhores resultados para esta métrica, é necessário considerar a sua performance insuficiente quanto aos níveis de iluminância.

**Gráfico 6.** Percentuais anuais de UMA para modelos dos grupos G1, G2 e G3.

Fonte: Autores, 2024.

Quanto aos modelos pertencentes ao grupo Grupo 4, Grupo 5 e Grupo 6, pode ser observado no **Gráfico 7** que também nenhum modelo conseguiu atingir a uniformidade da iluminância mínima para o plano de trabalho (0,7 ou 70%), conforme a NBR ISO/CIE 8.995-1 (ABNT, 2013), mesmo após o aumento da seção do tubo de luz natural. Isto provavelmente acontece em função da posição do sistema, que privilegia maior concentração da distribuição da iluminância no centro da malha de pontos. Para esta métrica, os modelos com melhores resultados possuem maiores inclinações e não apresentam significativa diferença percentual entre eles. Por outro lado, destacam-se os modelos M17/F1[0°/1.65X0.4m/J] (tubo de luz natural horizontal) e M11/F1[37°/1.2X0.4m] (menor inclinação, sem joelho), por alcançarem os piores resultados.

**Gráfico 7.** Percentuais anuais de UMA para modelos dos grupos G4, G5 e G6.

Fonte: Autores, 2024.

#### 4.1.4 Análises e Resultados EMA

De uma forma geral observa-se nos resultados de EMA para o Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3, expostos na **Tabela 7**, que os modelos que obtiveram os melhores resultados em pelo menos duas estações do ano pertencem ao G2, mais especificamente os modelos “M5/F1[69°/1.2x0.2/J]” e “M6/F1[103°/1.2x0.2/J]”. Por outro lado, os modelos que obtiveram os piores resultados em todas as épocas do ano são “M1/F1[37°/1.2x0.2]” e “M7/F1[0°/1.65x0.2/J]”.











A análise da Tabela 7 permite que sejam feitas algumas afirmações:



- Tendo sido mantida a mesma inclinação, a adoção do joelho contribuiu com a melhora da performance entre 6% até 174%, isto provavelmente decorre de um direcionamento mais eficiente da luz refletida para o plano de trabalho.
- Em um mesmo grupo a alteração da inclinação contribuiu com a melhora da performance: Grupo 1, 37° para 69° em até 230% e 37° para 103° em até 286%; Grupo 2, 37° para 69° em até 43% e 37° para 103° em até 51%; Grupo 3, 0° para 39° em até 46%, 0° para 69° em até 93% e 0° para 101° em até 112%. Isto

provavelmente é decorrente de uma maior facilidade de acesso da parcela de luz solar direta na porção coletora e condutora do tubo de luz natural. Outro fato é que os maiores ângulos de inclinação do tubo, para esta latitude estudada, podem diminuir o número de reflexões da luz durante a sua condução, favorecendo a performance do sistema.

- Tendo sido mantida a inclinação e a adição do joelho, o aumento do comprimento impacta de 1% à 23,2% a performance do tubo de luz natural, visto que o aumento do comprimento acarreta também o aumento do número de reflexões, diminuindo a performance do tubo de luz natural.

**Tabela 7.** Percentuais de Iluminância Média Anual (EMA) para os grupos G1, G2 e G3.

Modelos x Estações		☀ Verão	🍂 Outono	❄ Inverno	🌸 Primavera
M1/F1[37°/1.2x0.2]		58.3	58.2	41.3	67.9
M2/F1[69°/1.2x0.2]		184.2	182.5	137.6	224.1
M3/F1[103°/1.2x0.2]		245.3	193.6	119.9	262
M4/F1[37°/1.2x0.2/J]		173.3	146.5	117.8	186.3
M5/F1[69°/1.2x0.2/J]		211.2	224.9	153.1	266.2
M6/F1[103°/1.2x0.2/J]		266.2	204.1	127.3	280.7
M7/F1[0°/1.65x0.2/J]		114.4	123.8	110	137.4
M8/F1[39°/1.65x0.2/J]		167.7	144.1	118.3	180.8
M9/F1[69°/1.65x0.2/J]		210.2	213.6	139.2	264.8
M10/F1[101°/1.65x0.2/J]		243	202.9	129.4	265.9
Aumento percentual entre menor e maior valor.		357 %	286%	271%	313%

Legenda	Menor valor	
	Maior valor	

Fonte: Autores, 2024.

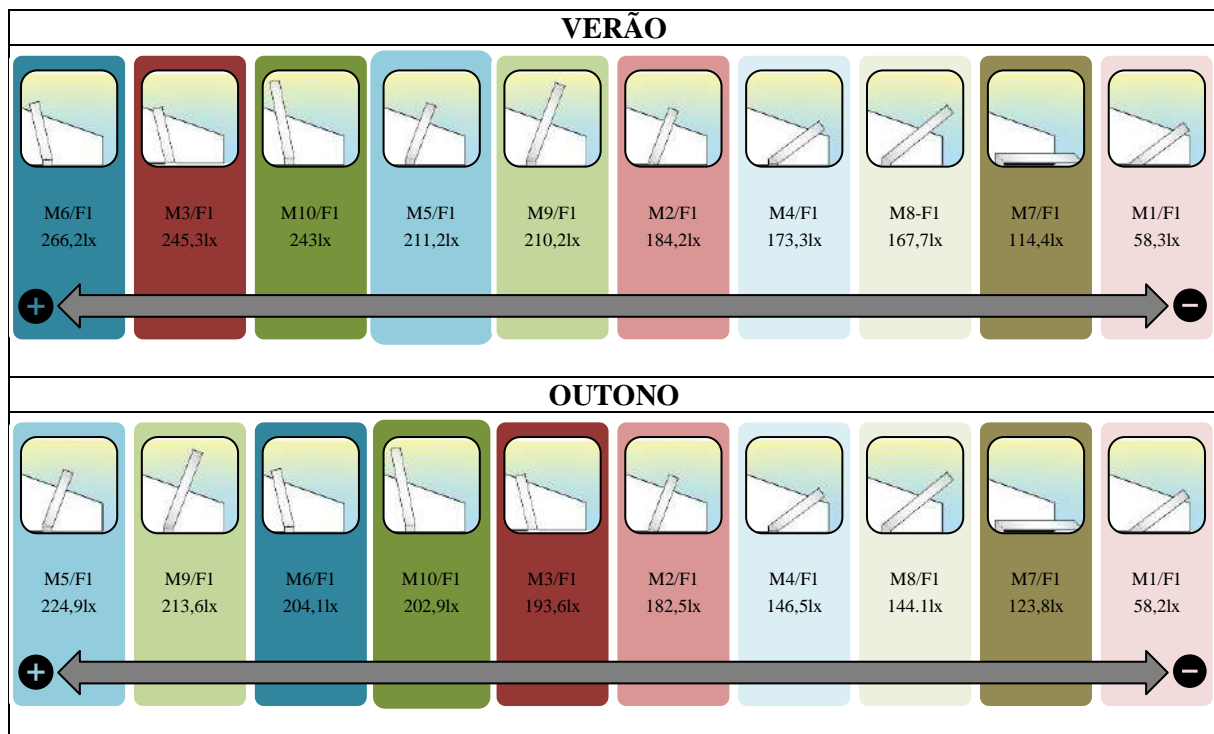
São apresentados a seguir no **Quadro 16**, os resultados ranqueados dos modelos propostos a partir dos valores de EMA, pertencentes ao G1, G2 e G3, de forma a demonstrar o grau de influência das alterações do tubo de luz natural na performance do sistema no Verão, Outono, Inverno e Primavera.

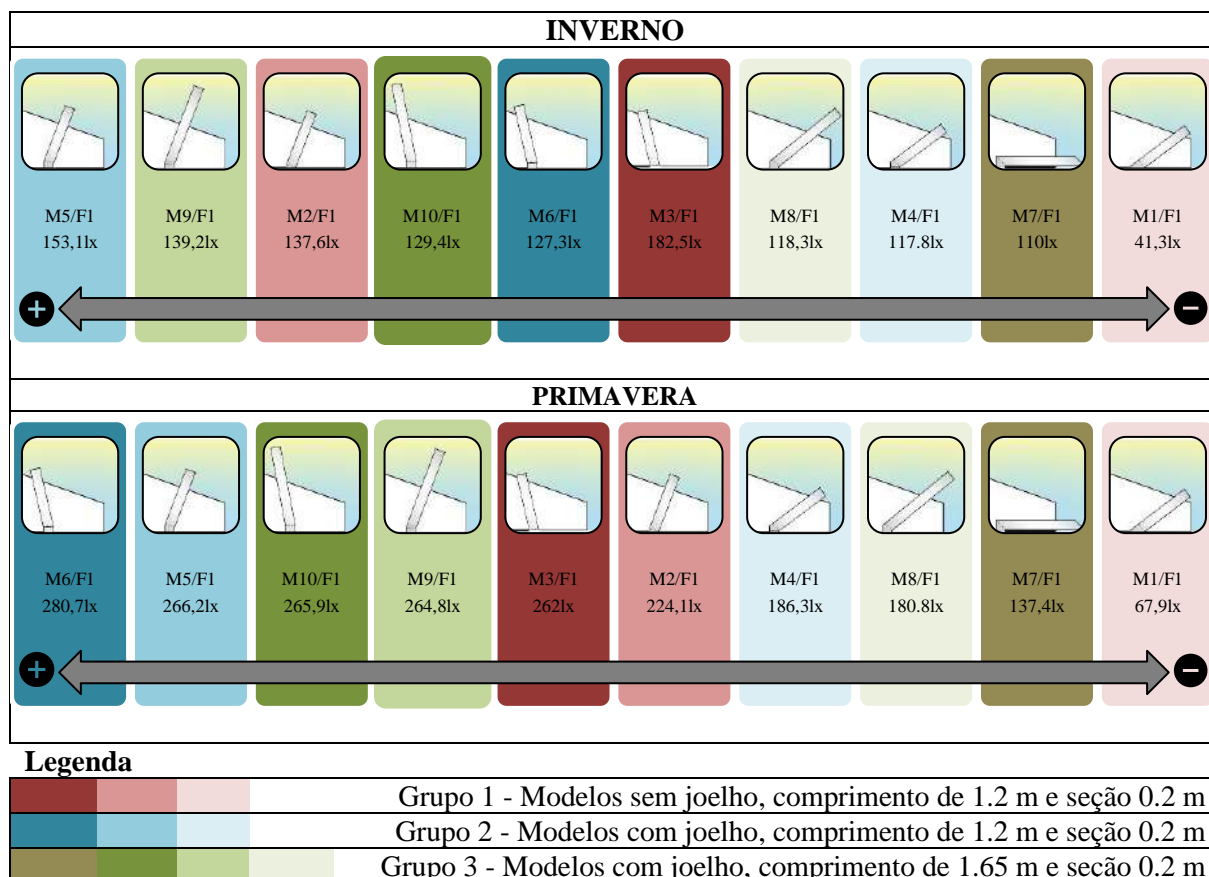
Quando comparados os modelos com maiores e menores valores de iluminância, observa-se que um maior ângulo de inclinação do tubo e a adição de joelho são mais determinantes para os ganhos de iluminância no ambiente. No Ranking os modelos com

menores inclinações ocupam as últimas posições em todos os períodos do ano, são eles: “M4/F1[37°/1.2x0.2/J]”, “M8/F1[37°/1.65x0.2/J]”, “M7/F1[0°/1.65x0.2/J]” e “M1/F1[37°/1.2x0.2]”. As menores inclinações provavelmente dificultam o acesso da radiação solar direta às porções coletora e condutora do tubo de luz natural, além de que, para esta latitude estudada, menores ângulos de inclinação dos tubos provavelmente aumentam o número de reflexões da luz durante a sua condução, favorecendo uma performance inferior do sistema. Quanto ao joelho, a ausência deste componente em “M1/F1[37°/1.2x0.2]”, provavelmente prejudica o direcionamento da luz para a área de trabalho, causando um decaimento expressivo da iluminância.

Por outro lado, os modelos com maiores inclinações ocupam as primeiras posições, dos quais “M5/F1[69°/1.2x0.2/J]” e “M6/F1[103°/1.2x0.2/J]” se destacam. O modelo M5/F1 é mais eficiente no outono e no inverno, períodos em que a altura solar é menor, enquanto que M6/F1 é mais eficiente na primavera e verão, períodos de maior altura solar. Estes modelos são diferentes apenas quanto a inclinação, ambos possuem joelho e comprimento de 1.2 m.

**Quadro 16.** Ranking das performances a partir dos valores de EMA para G1, G2 e G3.



















Fonte: Autores, 2024.



Quanto aos resultados de EMA para o Grupo 4, Grupo 5 e Grupo 6, observa-se na **Tabela 8** que os modelos que obtiveram os melhores resultados em pelo menos duas épocas do ano são os “M13/F1[103°/1.2x0.4]” (inclinação de 103°, sem joelho) e “M15/F1[69°/1.2x0.4/J]” (inclinação de 69°, com joelho). Por outro lado, os modelos que obtiveram os piores resultados em pelo menos duas épocas do ano são “M17/F1[0°/1.65x0.4/J]” (inclinação de 0°, com joelho) e “M20/F1[103°/1.65x0.4/J]” (inclinação de 103°, com joelho e comprimento 1,65m).

O aumento da dimensão da seção do tubo de luz natural dos modelos pertencentes ao G4, G5 e G6 proporcionou um aumento da iluminância média em até cinco vezes, no qual o modelo “M11/F1[37°/1.20x0.4]” apresentou o maior aumento. Por outro lado, os modelos “M20/F1[103°/1.65x0.4/J]”, “M17/F1[0°/1.65x0.4/J]” e “M19/F1[69°/1.65x0.4/J]” apresentaram diminuição percentual de respectivamente -4,5% (outono), -11,8% (primavera), -7,3 (primavera). Outros modelos apresentaram aumento insignificante da iluminância média anual, “M17/F1[0°/1.65x0.4/J]” e “M19/F1[69°/1.65x0.4/J]”, respectivamente no verão e

outono. Desta forma, o aumento da dimensão da seção possivelmente pode contribuir com ganhos lumínicos, entretanto, não é o único fator determinante para a performance do tubo, outras variáveis devem ser consideradas.

**Tabela 8.** Percentuais de Iluminância Média Anual (EMA) para os grupos G4, G5 e G6.

Modelos x Estações		 Verão	 Outono	 Inverno	 Primavera
M11/F1[37°/1.2x0.4]		354.5	275	261.2	348.8
M12/F1[69°/1.2x0.4]		390.5	345.1	327.6	385.6
M13/F1[103°/1.2x0.4]		417.2	234.1	223.6	409.8
M14/F1[37°/1.2x0.4/J]		301.9	250.9	240	295.9
M15/F1[69°/1.2x0.4/J]		375.6	356.4	349.6	368.5
M16/F1[103°/1.2x0.4/J]		413	228.8	218.6	404.5
M17/F1[0°/1.65x0.4/J]		117.2	259.9	248.7	121.1
M18/F1[37°/1.65x0.4/J]		289.8	230.8	221.1	282.5
M19/F1[69°/1.65x0.4/J]		248	215.1	208	245.3
M20/F1[103°/1.65x0.4/J]		341.8	193.6	185.7	332.6
Aumento percentual entre menor e maior valor.		256%	84%	88%	238%

Legenda	Menor valor	
	Maior valor	

Fonte: Autores, 2024.

São apresentados a seguir no **Quadro 17**, os resultados ranqueados dos modelos do Grupo 4, Grupo 5 e Grupo 6, a partir dos valores obtidos para EMA, de forma a demonstrar a influência do aumento da seção na performance lumínica do ambiente no Verão, Outono, Inverno e Primavera.



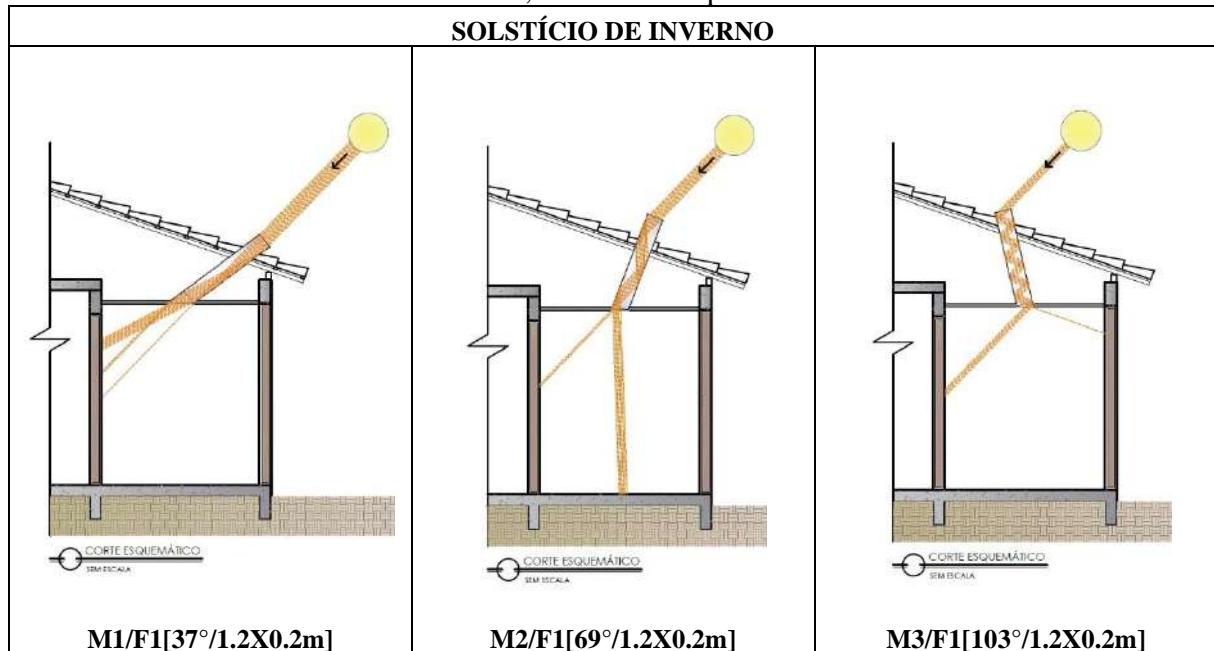
As posições dos modelos no ranking são iguais quando comparados os períodos de Outono com Inverno e Primavera com Verão, provavelmente em virtude das alturas solares mais aproximadas para essas épocas do ano.

Os modelos com maiores inclinações, após o aumento da seção, ainda ocupam as primeiras posições no ranking, dos quais destacam-se “M12/F1[69°/1.2x0.4]”, “M13/F1[103°/1.2x0.4]”, “M15/F1[69°/1.2x0.4/J]” e “M16/F1[103°/1.2x0.4/J]”. Entretanto, os modelos M13/F1 e M16/F1, apresentaram um decaimento expressivo nos períodos de outono e inverno, provavelmente em função da menor altura solar. Observa-se também que, o acréscimo de Joelho não gerou melhoras ou prejuízos significativos de performance. Por outro lado, o aumento do comprimento do tubo de modelos com maiores inclinações, impactou negativamente a iluminância média anual, sobretudo “M19/F1[69°/1.65x0.4/J]” e “M20/F1[103°/1.65x0.4/J]”. É interessante destacar também a melhora da performance do modelo “M17/F1[0°/1.65x0.4/J]” (tubo horizontal) nos períodos de Outono e Inverno.

#### 4.1.5 Análises e Resultados ESA

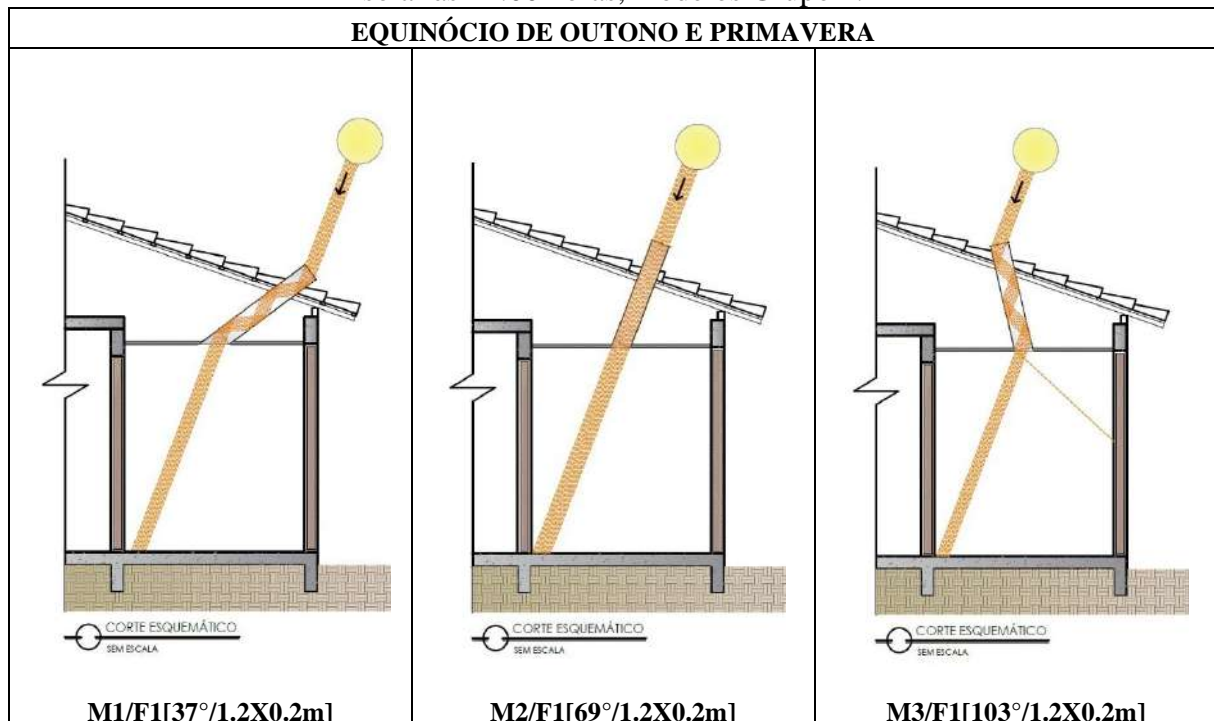
Para os valores de ESA do Grupo 1, Grupo 2, e Grupo 3, em todos os dez modelos o resultado encontrado foi nulo, desta forma, para esta métrica, os modelos enquadram-se no limite aceitável de luz solar direta (ESA < 3%). Isto provavelmente é decorrente de características tais como a inclinação do tubo de luz natural, dimensão mínima de seção e seu comprimento, que dificultam o acesso da parcela de luz direta. Além disto, mesmo que a variabilidade da trajetória solar ao longo do dia acarrete instantes de radiação solar direta no plano de trabalho, o tempo de exposição provavelmente é insignificante. Esquemas da trajetória e reflexão da luz solar direta para a altura solar às 12:00 horas, nos solstícios de inverno e verão e equinócios de outono e primavera podem ser visualizados nos quadros **18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 e 27**. É possível observar que a quantidade de reflexões nos tubos de luz natural com inclinação de 69°, no instante e altura solar representados é menor, visto que esta angulação é intermediária entre os menores ângulos (37° e 39°) e maiores (101° e 103°), o que privilegia o acesso da luz solar e condução através do tubo.

**Quadro 18.** Trajetória da luz solar direta em solstício de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 1.



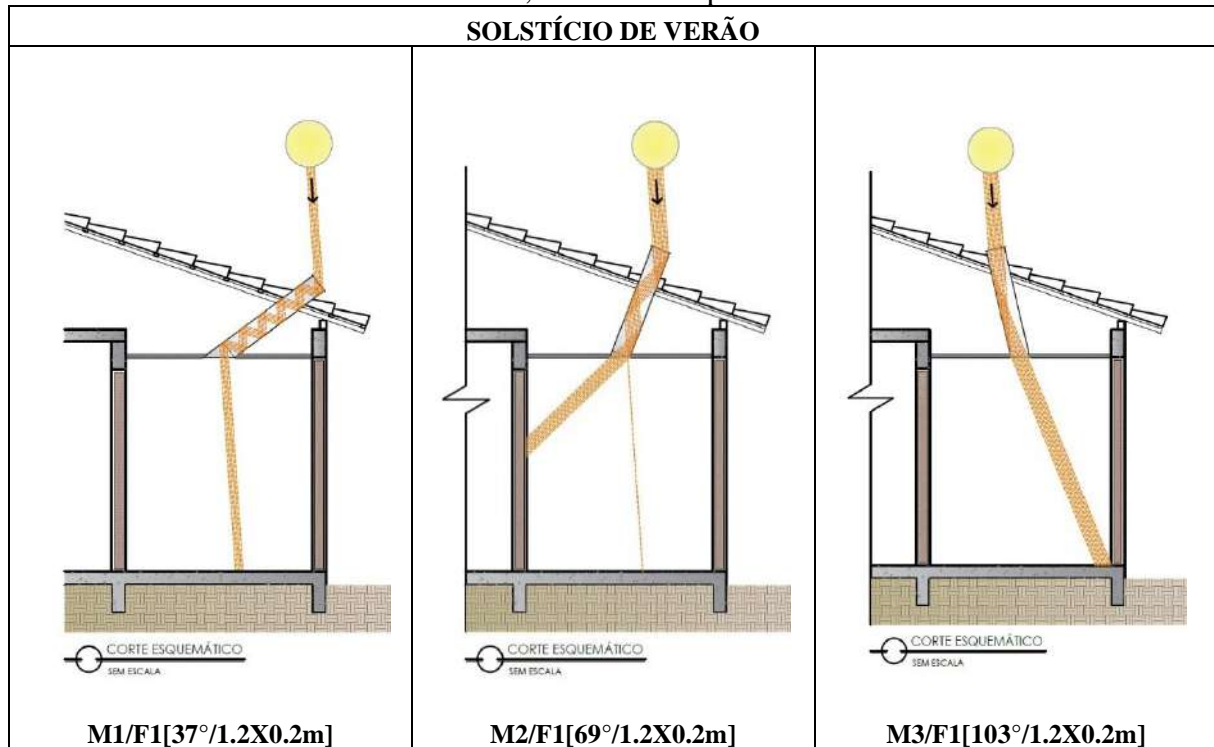
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 19.** Trajetória da luz solar direta em equinócio de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 1.



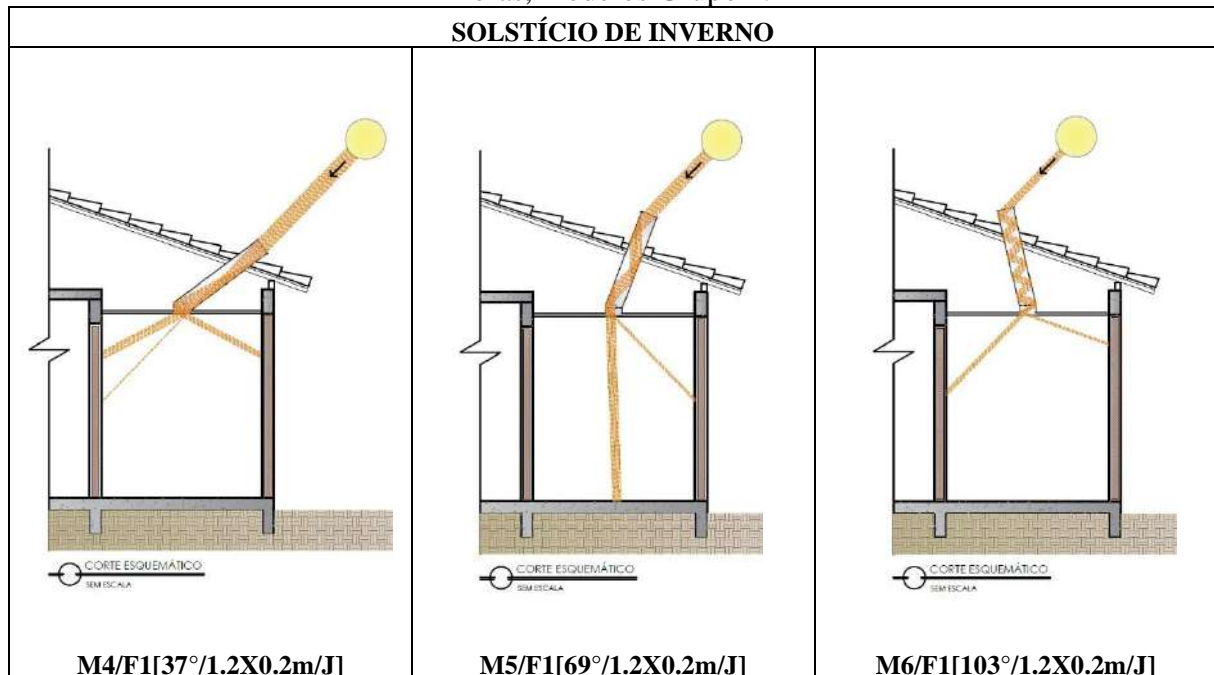
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 20.** Trajetória da luz solar direta em solstício de verão, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 1.



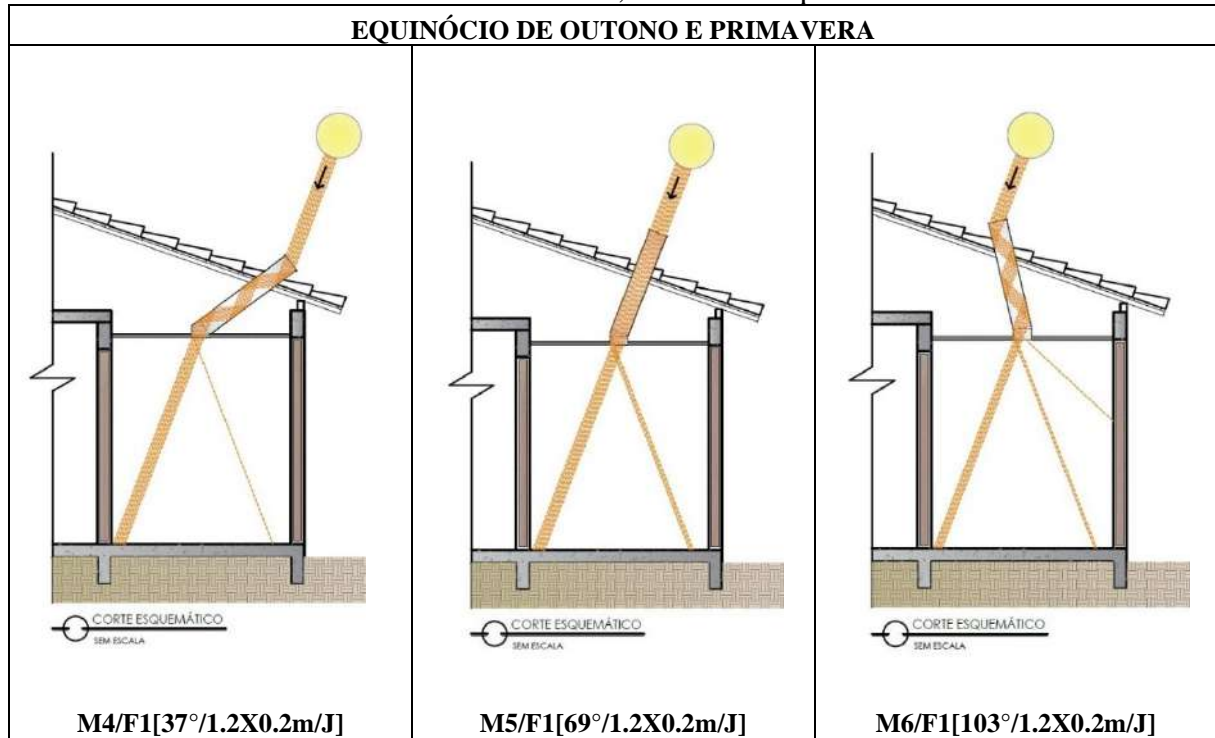
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 21.** Trajetória da luz solar direta em solstício de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 2.



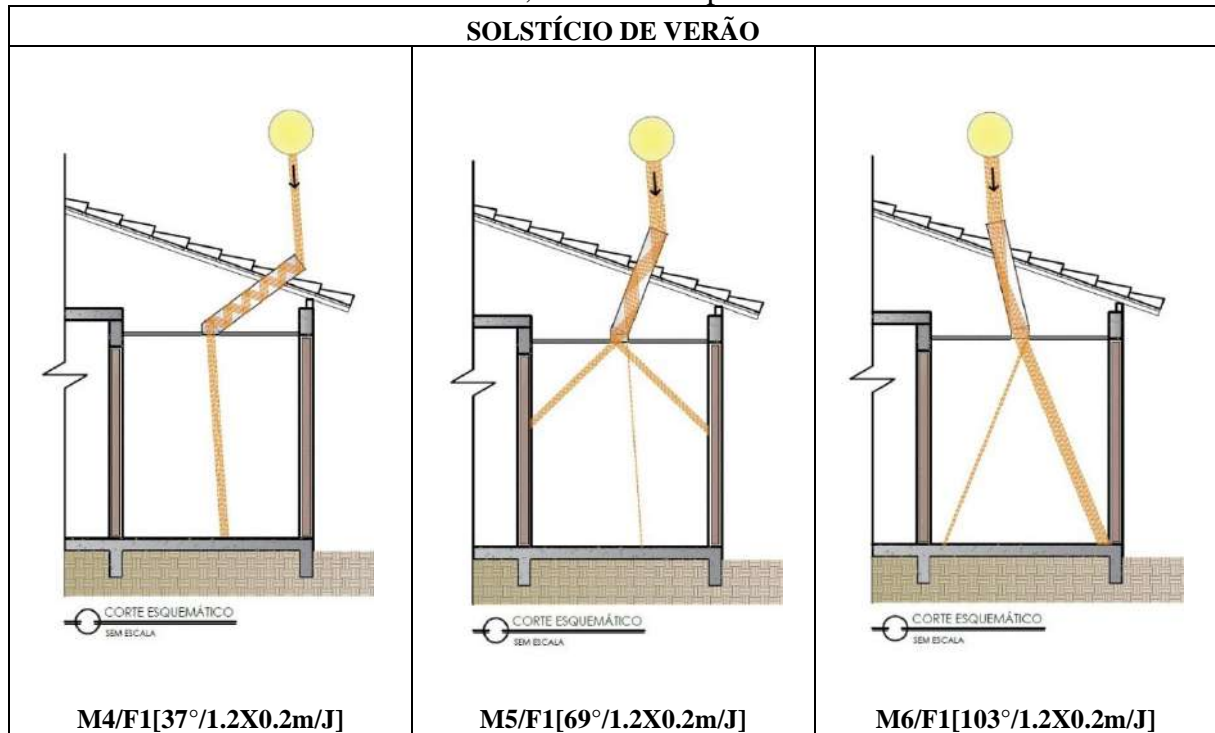
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 22.** Trajetória da luz solar direta em equinócio de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 2.



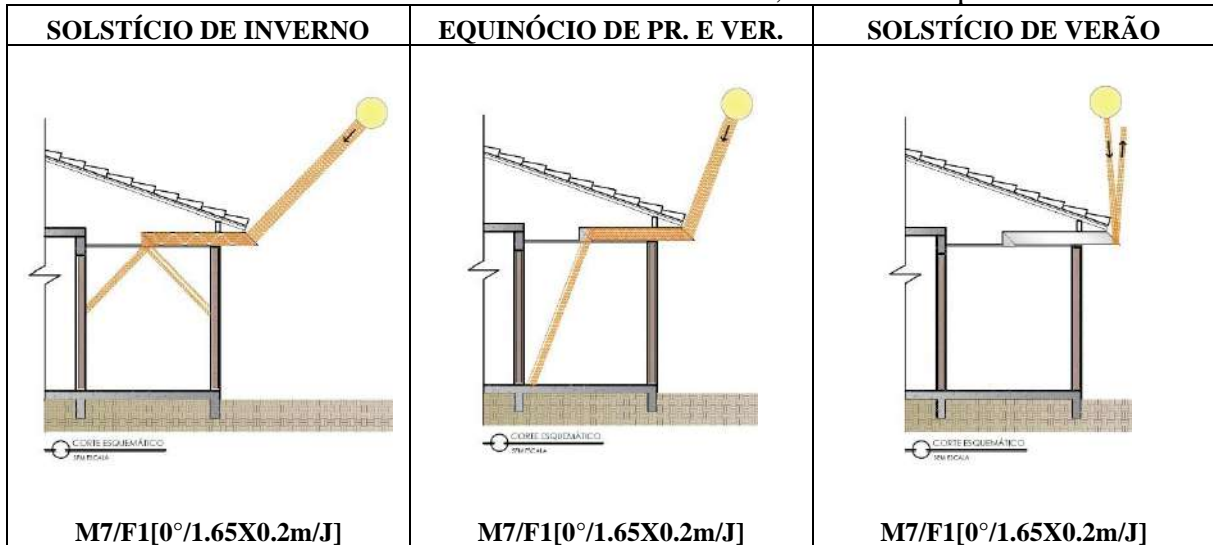
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 23.** Trajetória da luz solar direta em solstício de verão, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 2.



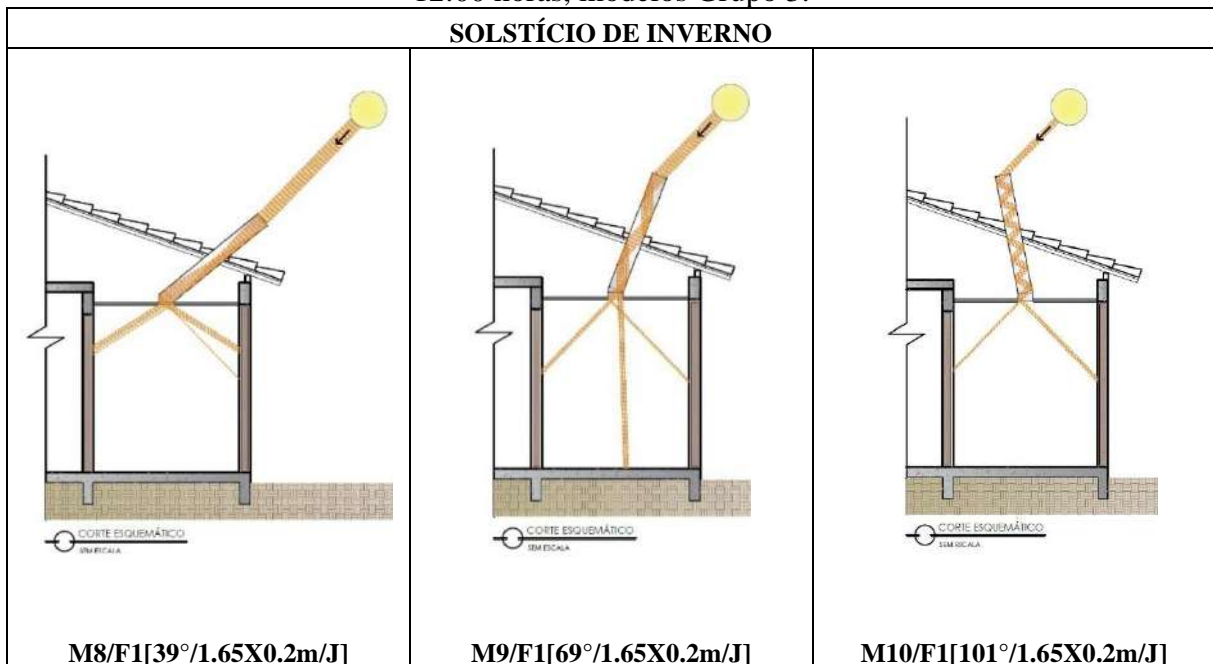
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 24.** Trajetória da luz solar direta em solstícios e equinócios, para altura solar às 12:00 horas de tubo de luz natural horizontal, modelos Grupo 3.



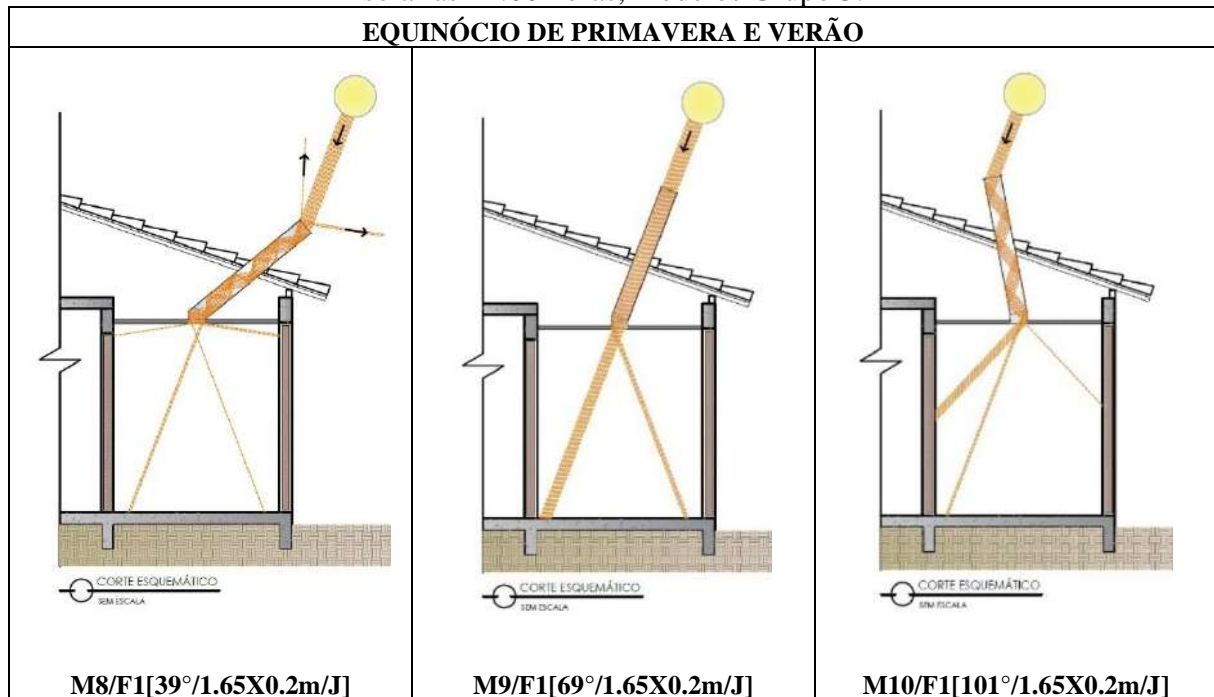
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 25.** Trajetória da luz solar direta em solstícios de inverno, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 3.



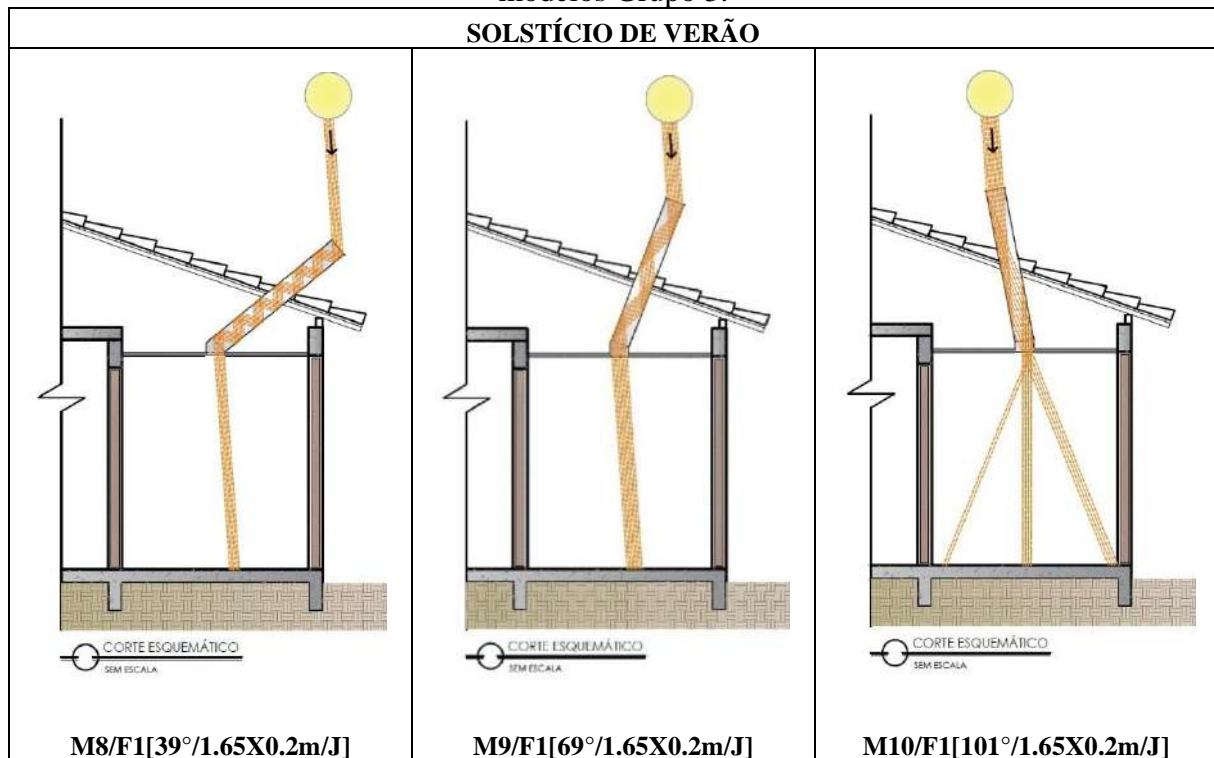
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 26.** Trajetória da luz solar direta em equinócios de outono e primavera, para altura solar às 12:00 horas, modelos Grupo 3.



Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 27.** Trajetória da luz solar direta em solstícios de verão, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 3.

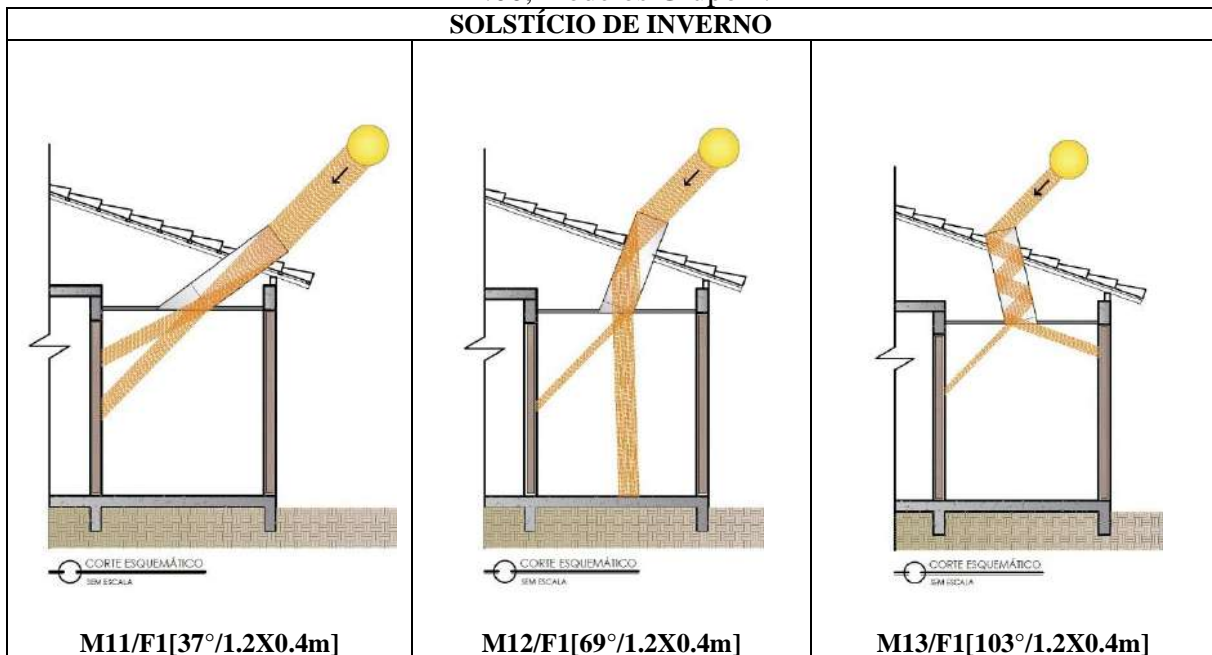


Fonte: Autores, 2024.

Para os valores de ESA, em todos os dez modelos pertencentes aos Grupos 4, 5 e 6, o resultado encontrado foi nulo, desta forma, para esta métrica, os modelos também se enquadram no limite aceitável de luz solar direta (ESA < 3%). Mesmo com o aumento da seção do tubo de luz natural, provavelmente as características tais como a inclinação do tubo e seu comprimento, dificultam o acesso desta parcela de luz.

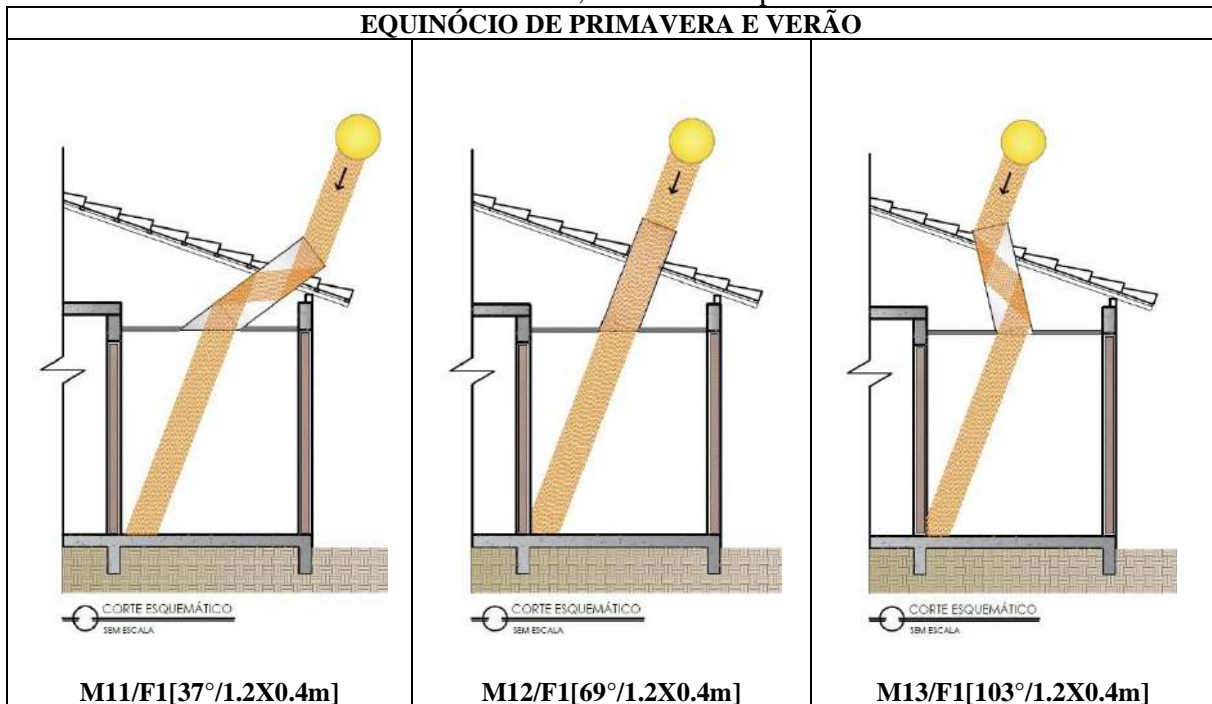
Esquemas da trajetória da luz solar direta para a altura solar às 12:00 horas, nos solstícios de inverno e verão e equinócios de outono e primavera podem ser visualizados nos quadros 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37. É possível observar que a quantidade de reflexões nos tubos de luz natural com inclinação de 69°, no instante e altura solar representados é menor. Também, para todos os modelos, ocorreu a diminuição de reflexões internas após o aumento da seção do tubo, isto possivelmente também se torna um fator preponderante para uma melhor performance dos tubos de luz natural.

**Quadro 28.** Trajetória da luz solar direta em solstícios de inverno, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 4.  
**SOLSTÍCIO DE INVERNO**



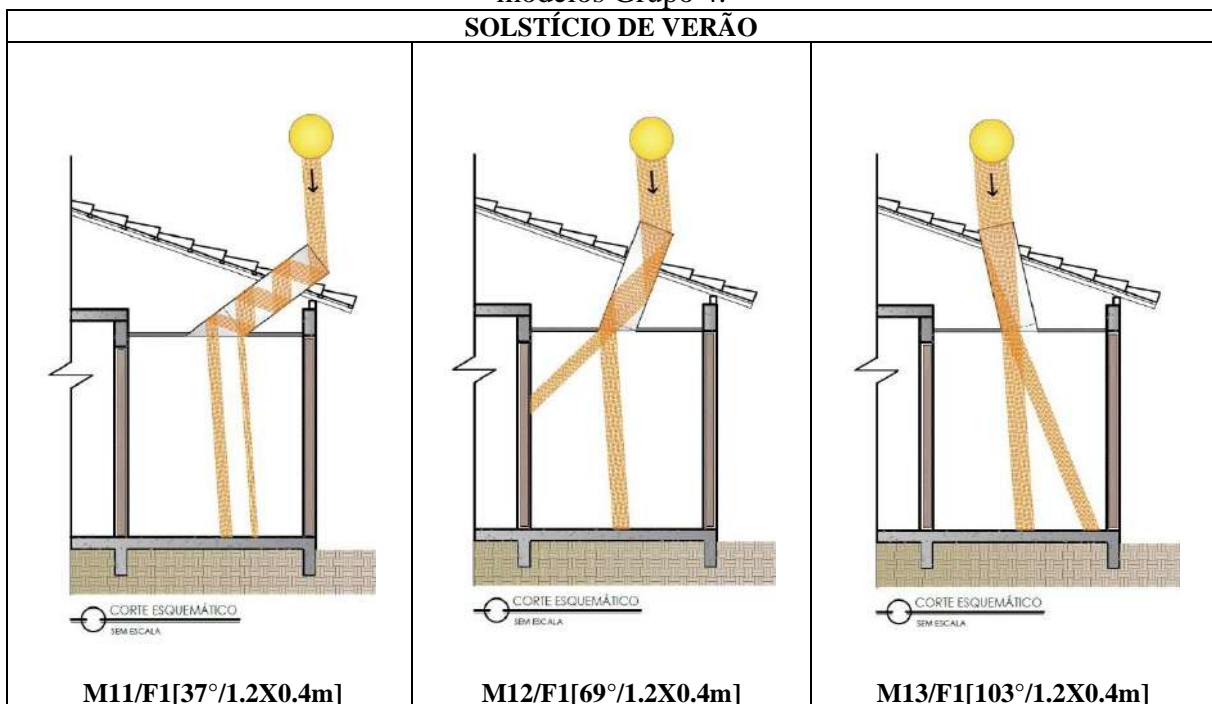
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 29.** Trajetória da luz solar direta em equinócios de outono e primavera, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 4.



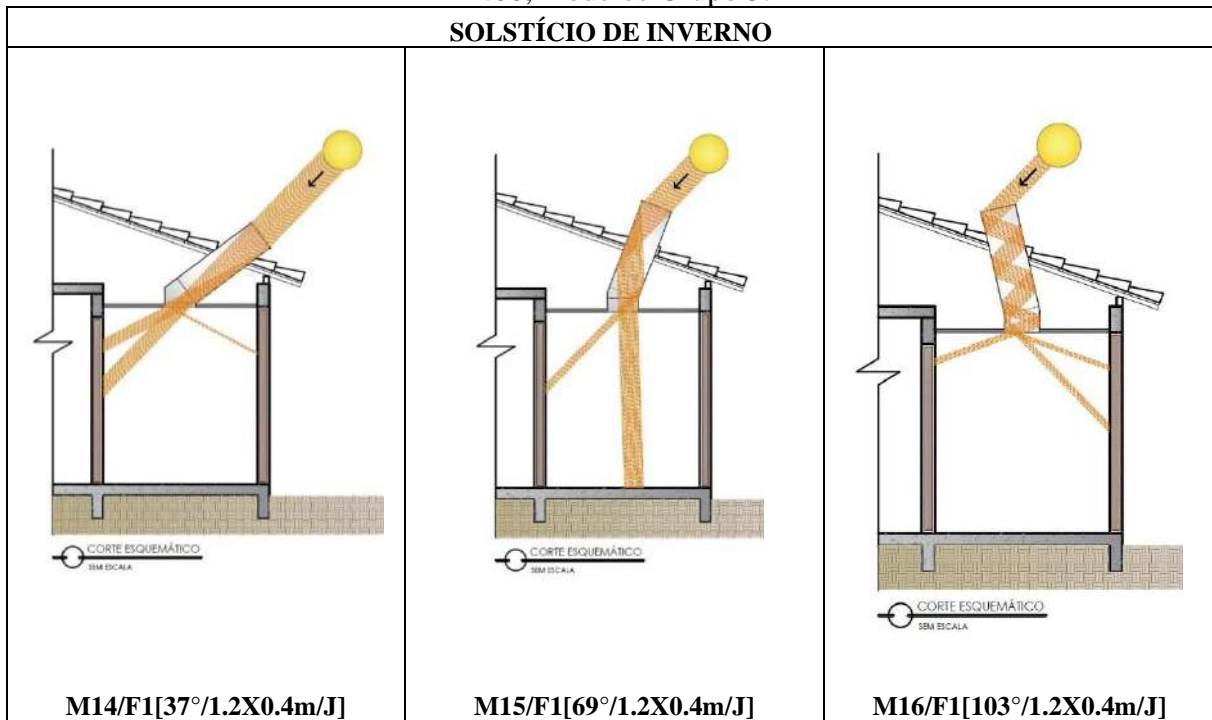
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 30.** Trajetória da luz solar direta em solstícios de verão, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 4.



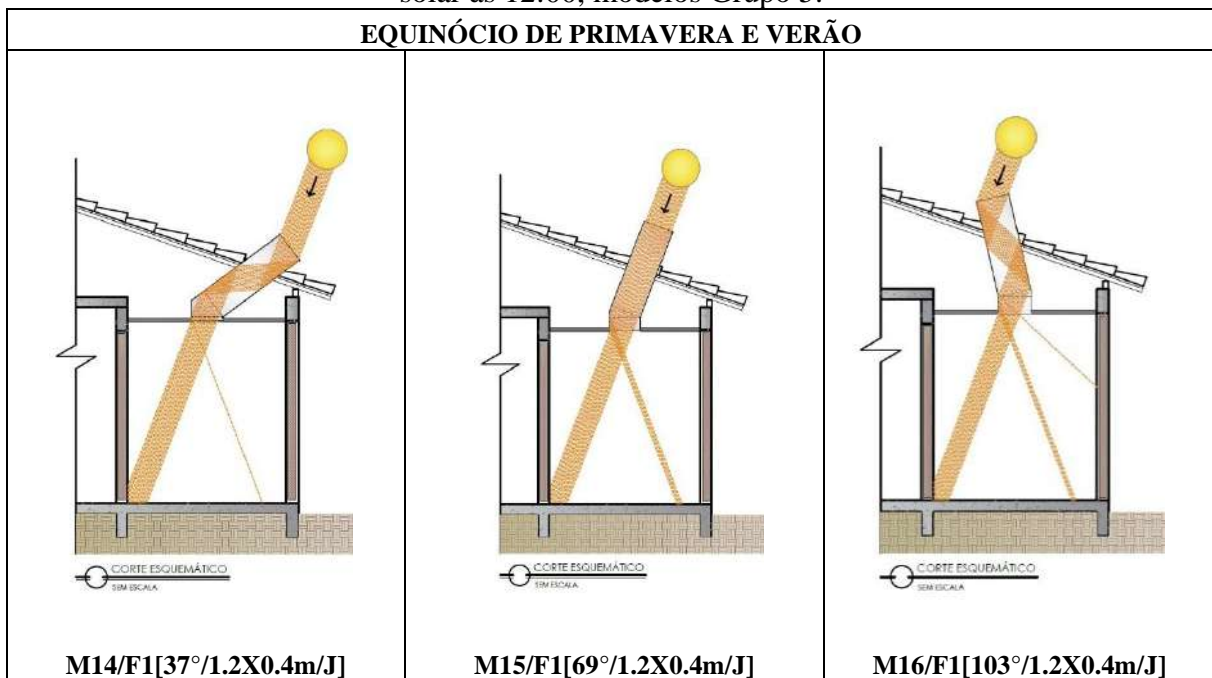
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 31.** Trajetória da luz solar direta em solstícios de inverno, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 5.



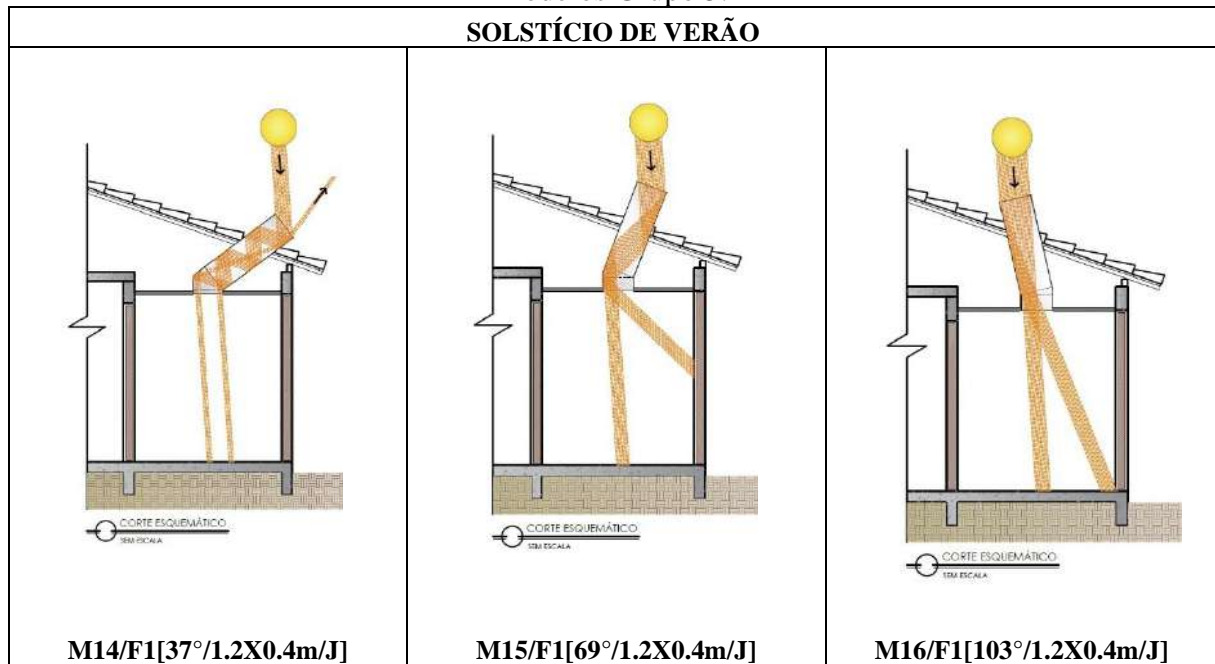
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 32.** Trajetória da luz solar direta em equinócios de outono e primavera, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 5.



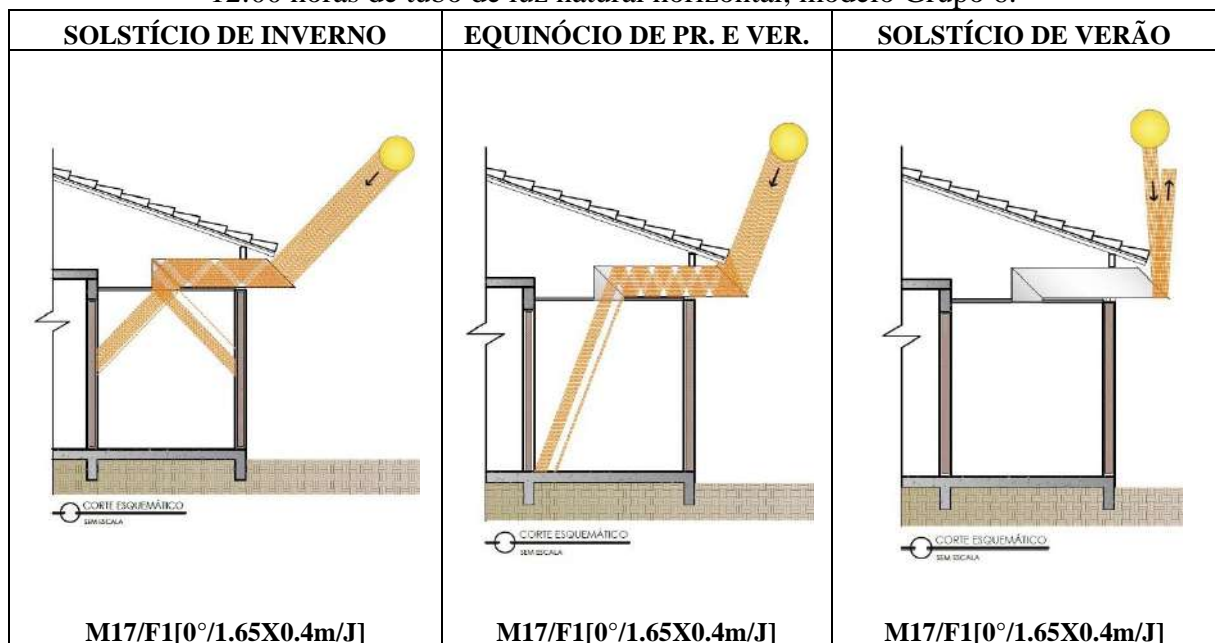
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 33.** Trajetória da luz solar direta em solstícios de verão, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 5.



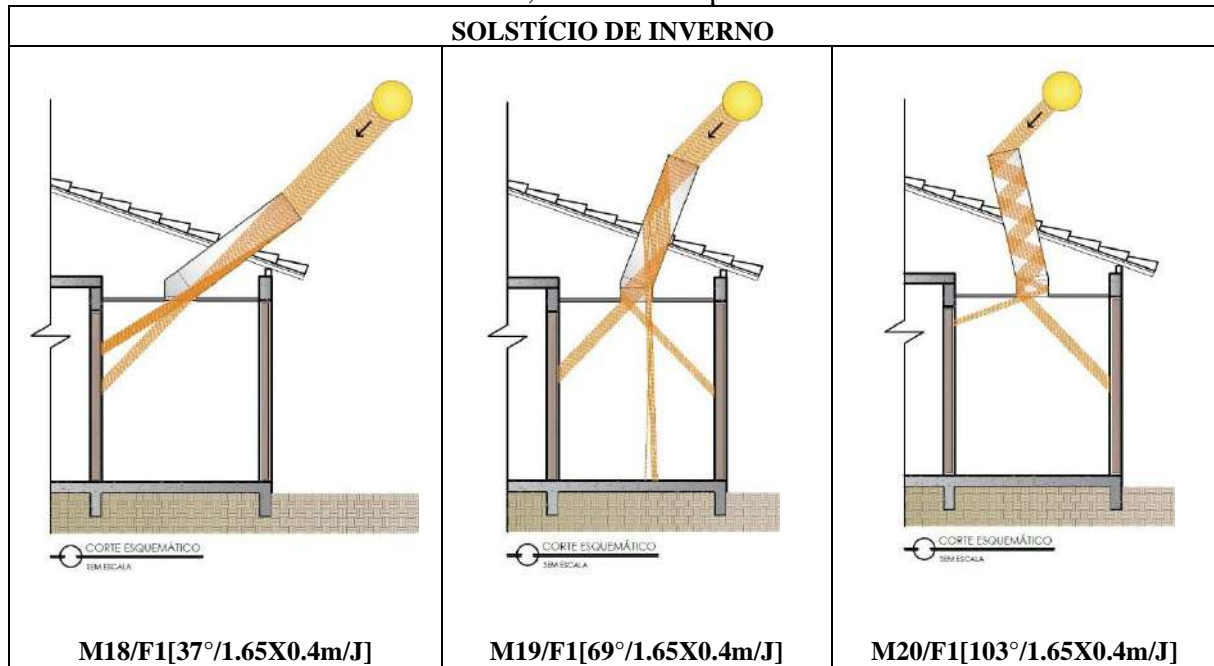
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 34.** Trajetória da luz solar direta em solstícios e equinócios, para altura solar às 12:00 horas de tubo de luz natural horizontal, modelo Grupo 6.



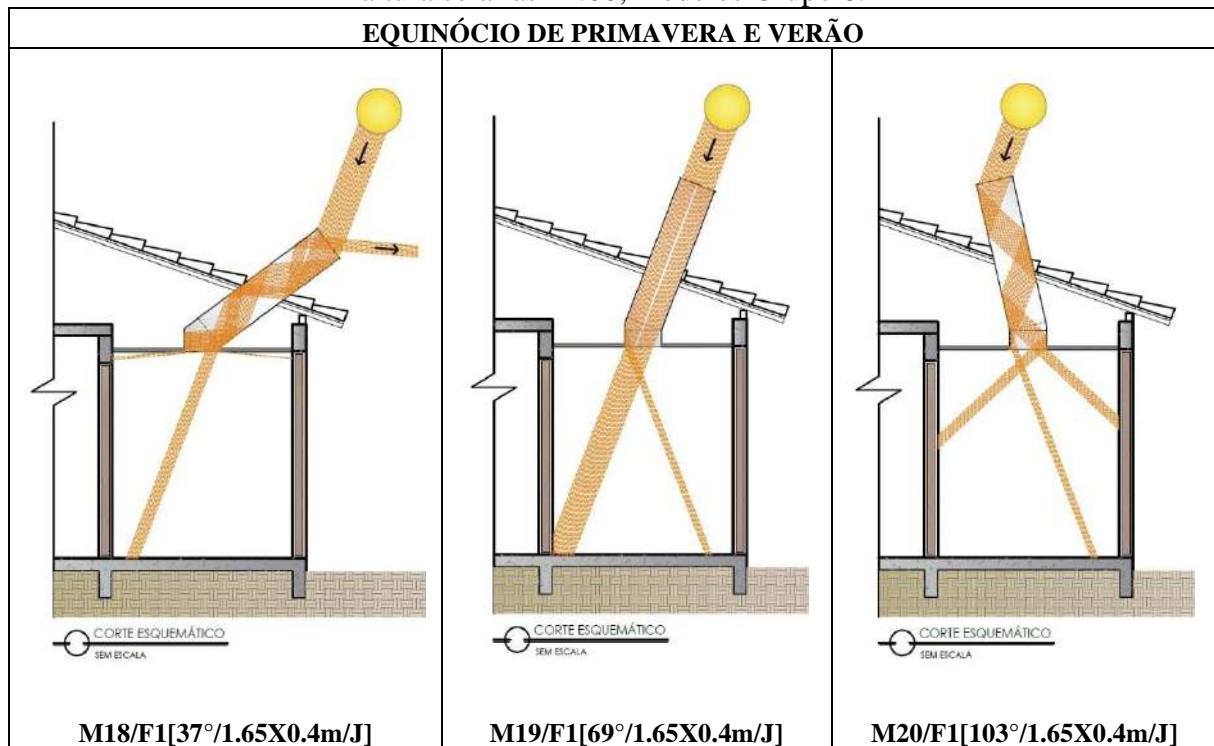
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 35.** Trajetória da luz solar direta em solstícios de inverno, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 6.



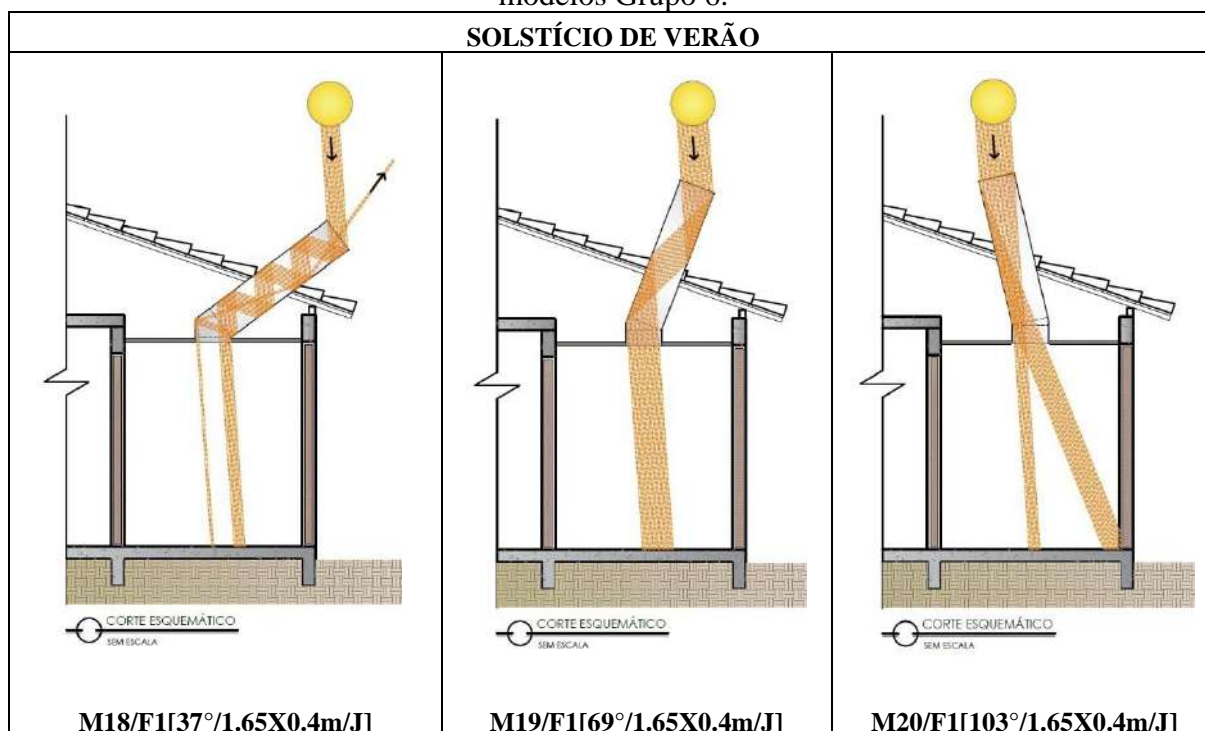
Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 36** – Trajetória da luz solar direta em equinócios de outono e primavera, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 6.



Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 37.** Trajetória da luz solar direta em solstícios de verão, para altura solar às 12:00, modelos Grupo 6.



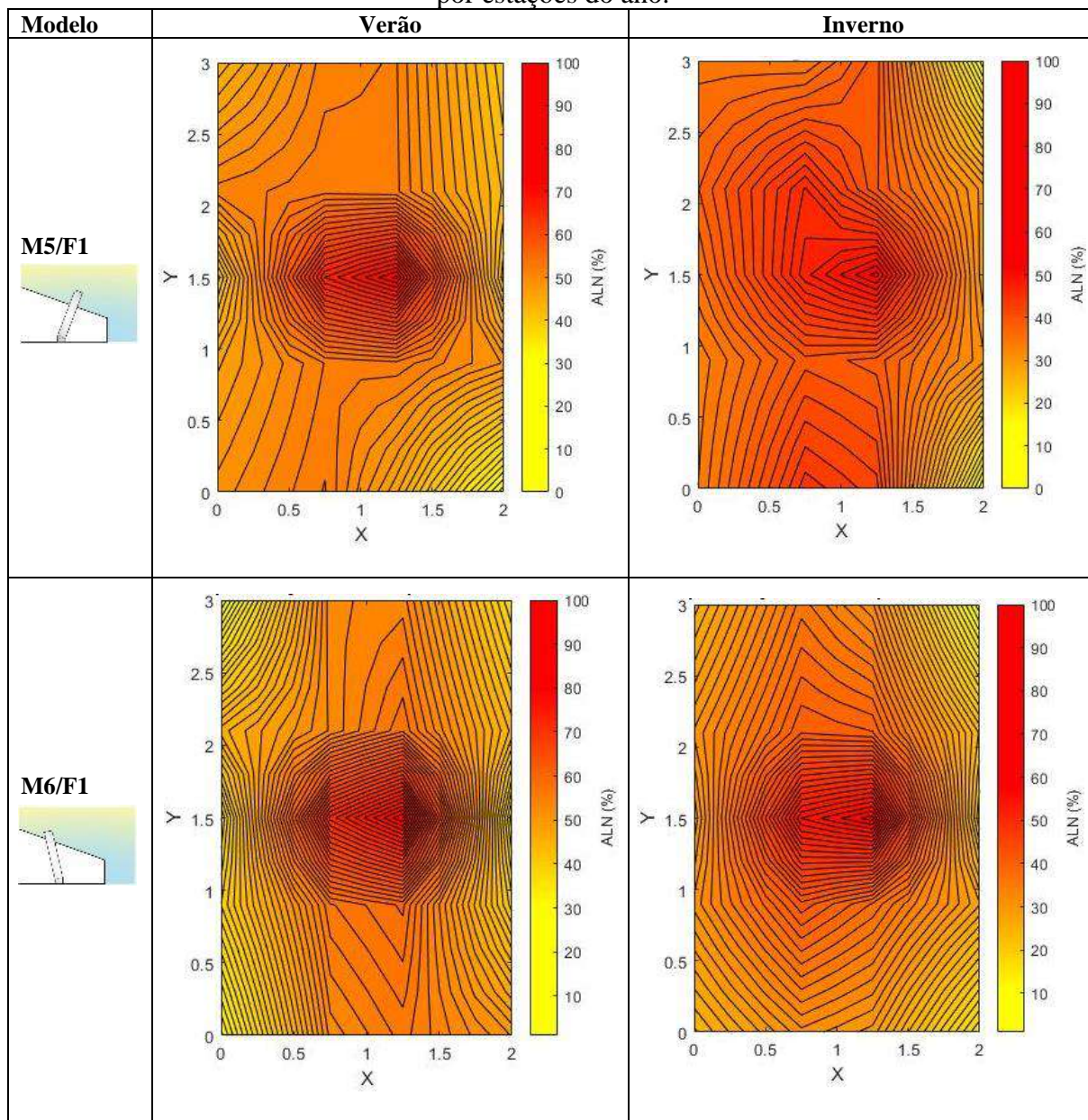
Fonte: Autores, 2024.

#### 4.1.6 Análises e Resultados Isocurvas

As isocurvas são geradas para os dois melhores modelos ranqueados dentre aqueles pertencentes aos grupos 1, 2 e 3, apresentados no **Quadro 38** e **Quadro 39**, baseadas nos dados de Autonomia de Luz Natural (ALN), definida como percentual anual de horas em que um valor mínimo de iluminância é mantido apenas por luz natural, tendo sido adotado o valor mínimo de 120 lx, classificado como superior segundo a NBR 15575 - 1 (ABNT, 2013). É possível observar que, como esperado, a manutenção do valor mínimo de iluminância se dá mais ao centro do ambiente, em conformidade com a posição do tudo de luz natural.

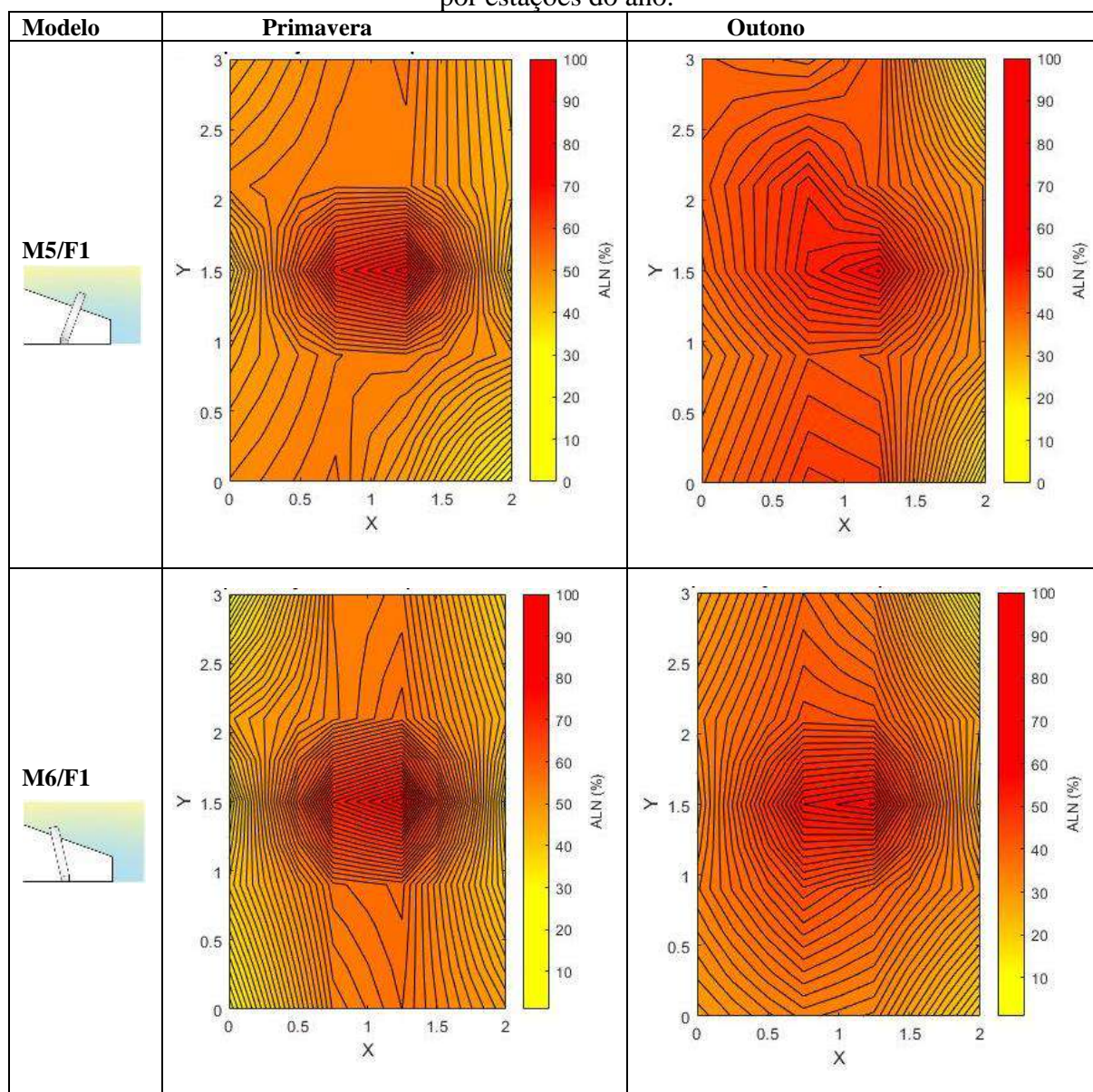
O Comportamento das curvas é semelhante nos dois modelos, quando comparados os períodos de verão com primavera e inverno com outono.

**Quadro 38.** Isocurvas dos modelos M5/F1[69°/1.2x0.2m/J] e M6/F1[103°/1.2x0.2m/J], por estações do ano.



Fonte: Autores, 2024.

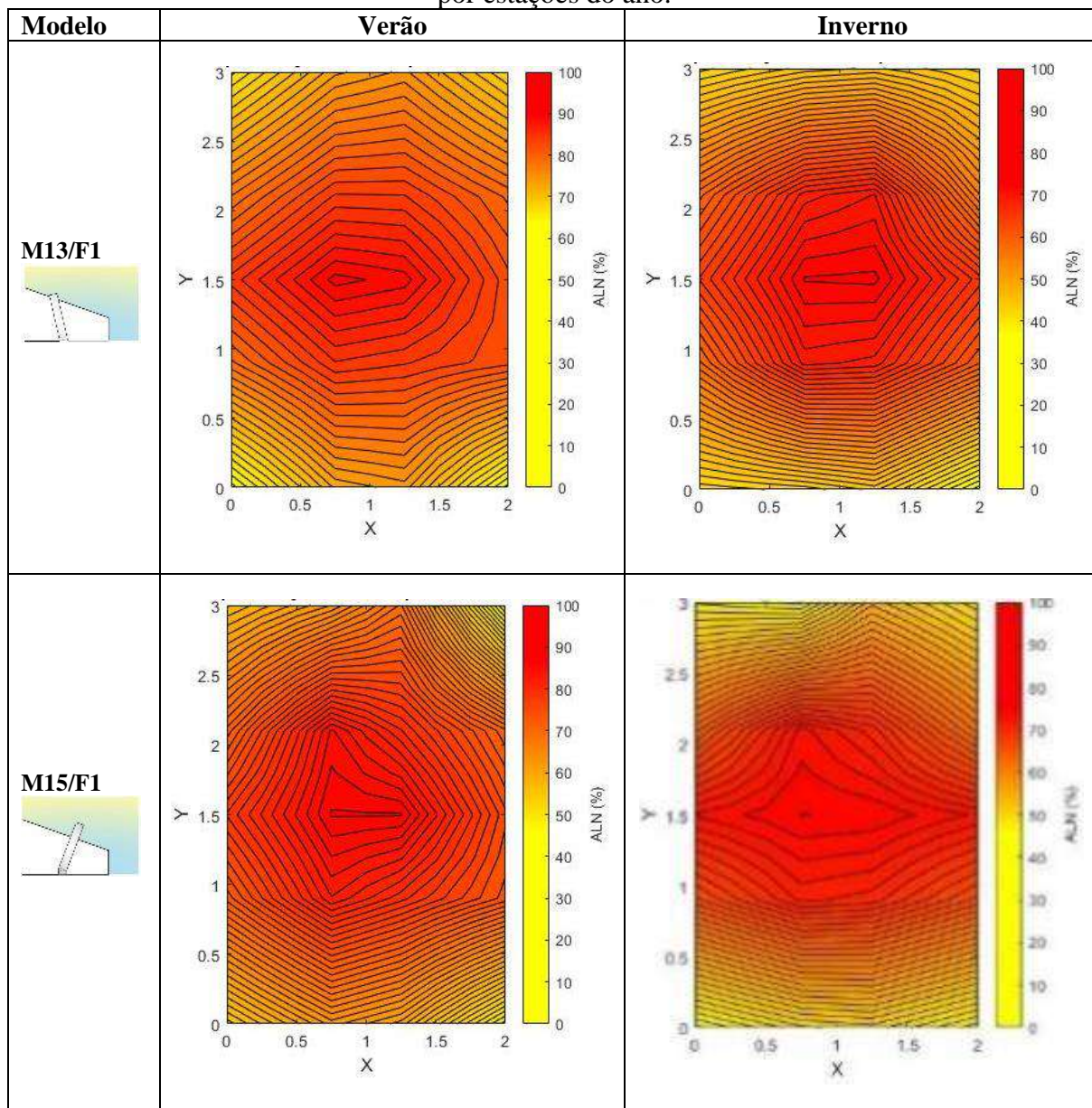
**Quadro 39.** Isocurvas dos modelos M5/F1[69°/1.2x0.2m/J] e M6/F1[103°/1.2x0.2m/J], por estações do ano.



Fonte: Autores, 2024.

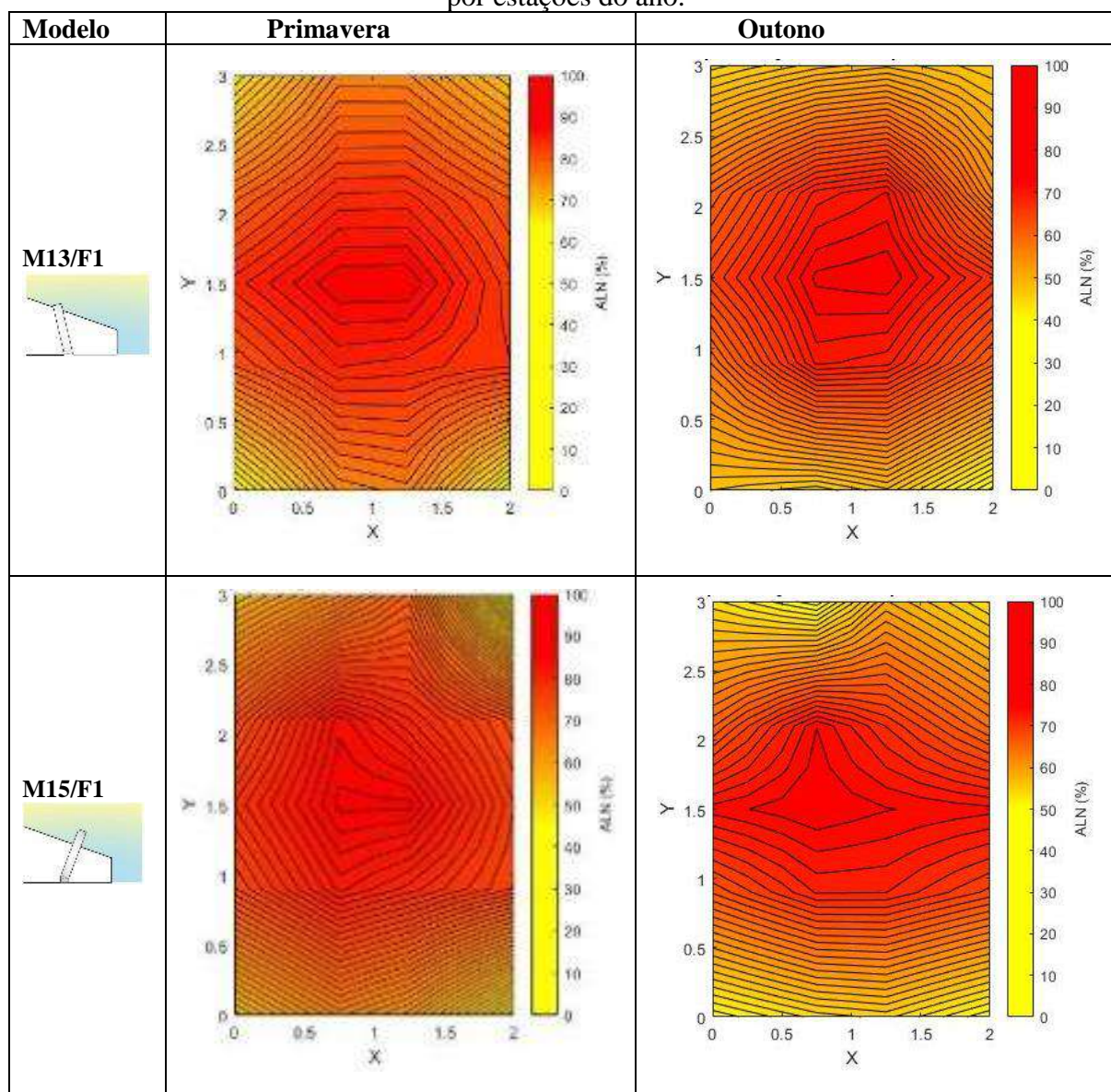
É possível observar nas isocurvas, geradas para os dois melhores modelos ranqueados dentre aqueles pertencentes aos grupos 4, 5 e 6, apresentados no **Quadro 40** e **Quadro 41**, baseadas nos valores de ALN. Como esperado, a manutenção do valor mínimo de 120 lx de iluminância, classificado como superior segundo a NBR 15575 - 1 (ABNT, 2013) concentra-se mais ao centro do ambiente, em conformidade com a posição do tudo de luz natural. Também se percebe que em mais de 1/3 da área do ambiente possivelmente o valor mínimo é mantido pelo menos entre 60% a 70% das horas simuladas.

**Quadro 40.** Isocurvas dos modelos **M13/F1**[103°/1.2x0.4m] e **M15/F1**[69°/1.2x0.4m/J], por estações do ano.



Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 41.** Isocurvas dos modelos M13/F1[103°/1.2x0.4m] e M15/F1[69°/1.2x0.4m/J], por estações do ano.



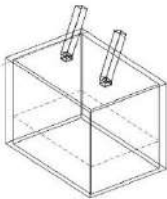
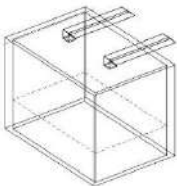
Fonte: Autores, 2024.

#### 4.1.7 Investigação

A seguir são mostrados os resultados da investigação comparativa entre os modelos M15/F1[69°/1.2x0.4/J] e M17/F1[0°/1.65x0.4/J], com modelos nos quais são inseridos dois tubos de luz natural semelhantes aos modelos M5/F1[69°/1.2x0.2/J] e M7/F1[0°/1.65x0.2/J], que possuem dimensão de seção menor. O objetivo desta investigação é analisar se o dobro da dimensão da seção do tubo ou o dobro de unidades de tubos de luz natural de seção menor, é solução mais eficiente em garantir maior disponibilidade de luz natural para o ambiente.

Esta investigação considera os valores para iluminância média anual (EMA) e Uniformidade (UMA). No **Quadro 42** são apresentados os modelos de investigação com a descrição de suas características.

**Quadro 42.** Modelos de investigação para simulações: dois modelos com o dobro de tubos de luz natural Fase 1, provenientes do Grupo 2 e Grupo 3.





<b>GRUPO DE INVESTIGAÇÃO</b>	
Modelos de cozinha com acréscimo de dois tubos de luz natural, centralizado em relação a 1/2 da área do ambiente.	
<b>M5/F1[Inv]</b>	
	Modelo de cozinha com dois tubos de luz natural, M5/F1[69°/1.2x0.2/J], que possuem comprimento de 1,2m, seção 0,2x0,2 m, inclinação de 69°, com joelho (0,1m²).
<b>M7/F1[Inv]</b>	
	Modelo de cozinha com dois tubos de luz natural, M7/F1[0°/1.65x0.2/J], que possuem comprimento de 1,65m, seção 0,2x0,2 m, inclinação de 0°, com joelho (0,1m²).

Fonte: Autores, 2024.

A **Tabela 9** apresenta resultados de EMA, os quais demonstram que para aumento da iluminância média, o aumento de seção do tubo é mais eficaz do que um maior número de tubos com dimensão de seção menor, provavelmente em função de um menor acesso da luz pela porção coletora em tubos de menor seção e maior número de reflexões internas ao longo da porção condutora.

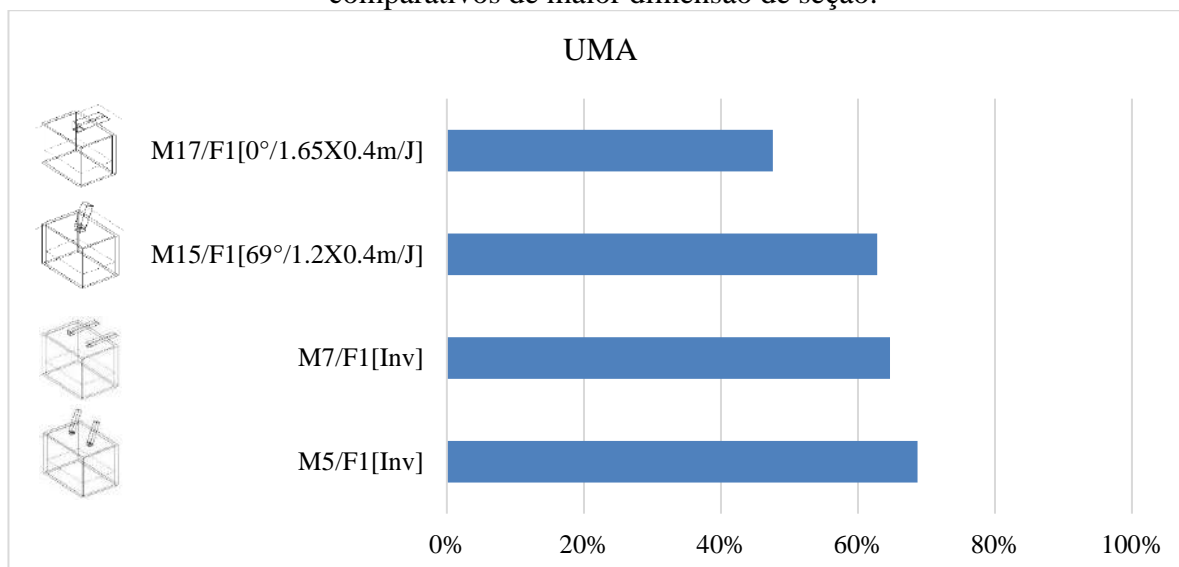
Por outro lado, no **Gráfico 8** com resultados de UMA, é possível observar que um maior número de tubos melhora os valores de uniformidade, provavelmente em função de uma melhor distribuição da iluminância devido espaçamento entre fontes luminosas. Neste sentido, o modelo M5/F1[Inv] conseguiu alcançar uniformidade mínima da iluminância de 0,7 ou 70% estabelecido pela NBR ISO/CIE 8.995-1 (ABNT, 2013).

**Tabela 9.** Percentuais de Iluminância Média Anual (EMA), para modelos de investigação e modelos comparativos de maior dimensão de seção.

Modelos x Estações		☀ Verão	🍂 Outono	❄ Inverno	🌸 Primavera
M17/F1[0°/1.65x0.4/J]		117.2	259.9	248.7	121.1
M7/F1[Inv]		56.1	139.3	132.1	59.6
M15/F1[69°/1.2x0.4/J]		375.6	356.4	349.6	368.5
M5/F1[Inv]		282.6	280	267.5	280.4

Fonte: Autores, 2024.

**Gráfico 8.** Percentuais de uniformidade (UMA), para modelos de investigação e modelos comparativos de maior dimensão de seção.



Fonte: Autores, 2024.

#### 4.1.8 Síntese dos Resultados Fase 1

A seguir no **Quadro 43**, são pontuados os resultados gerais mais relevantes observados na Fase 1, e resultados com vistas as análises das diferentes inclinações dos tubos de luz natural, presença ou ausência de joelho, diferenças quanto ao comprimento e dimensões da seção dos sistemas.

**Quadro 43.** Síntese dos resultados gerais e para as variáveis: inclinação, joelho, comprimento, dimensão de seção.

<b>QUADRO SÍNTESE</b>	
<b>Inclinação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos de tubos de luz natural com ângulo de inclinação igual ao ângulo da altura solar no solstício de verão e equinócios, apresentaram melhores performances.</li> <li>• Modelos de tubos de luz natural horizontais podem melhorar a performance nos períodos de menor altura solar (outono e inverno).</li> </ul>
<b>Joelho</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A associação de joelhos nos modelos de tubos de luz natural de menor seção melhoraram a performance.</li> <li>• A associação de joelhos nos modelos de tubos de luz natural de maior seção provocou insignificante aumento ou diminuição da performance.</li> </ul>
<b>Comprimento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O aumento do comprimento do tubo em modelos de menor seção provocou baixa ou insignificante diminuição da performance.</li> <li>• O aumento do comprimento do tubo em modelos de maior seção provocou diminuição mais expressiva da performance.</li> </ul>
<b>Seção</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O aumento da seção do tubo de luz natural provocou expressivo aumento da performance do sistema.</li> <li>• Tubos de iluminação natural com o dobro da dimensão da seção, demonstraram garantir maior iluminância do que o dobro de dispositivos de menor seção.</li> </ul>
<b>Resultados Gerais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores de iluminância excessiva para IULN (<math>E &gt; 3000</math>), são nulos ou insignificantes para todos os modelos analisados.</li> <li>• A exposição solar direta (ESA) é aceitável (<math>&lt; 3\%</math>) para todos os modelos analisados.</li> <li>• Nenhum dos modelos com apenas um tubo de luz natural conseguiu atingir índice de uniformidade de 0,7 no plano de trabalho.</li> <li>• O modelo que apresenta melhores resultados para as métricas analisadas, dentre aqueles pertencentes aos grupos 1, 2 e 3 é o “M5/F1 [69°/1.2x0.2/J]”, que possui inclinação igual ao ângulo da altura solar nos equinócios, joelho, comprimento de 1.2 m e seção com dimensão de 0.2x0.2 m.</li> <li>• O modelo que apresenta melhores resultados para as métricas analisadas, dentre aqueles pertencentes aos grupos 4, 5 e 6 é o “M15/F1 [69°/1.2x0.4/J]”, que possui inclinação igual ao ângulo da altura solar nos equinócios, joelho, comprimento de 1.2 m e seção com dimensão de 0.4x0.4 m.</li> </ul>

Fonte: Autores, 2024.

## 4.2 ANÁLISE FASE 02

A análise da Fase 2 realiza-se para 5 modelos, divididos em dois grupos, com vistas a análise da influência da autoconstrução na disponibilidade de luz natural em cozinha de conjunto

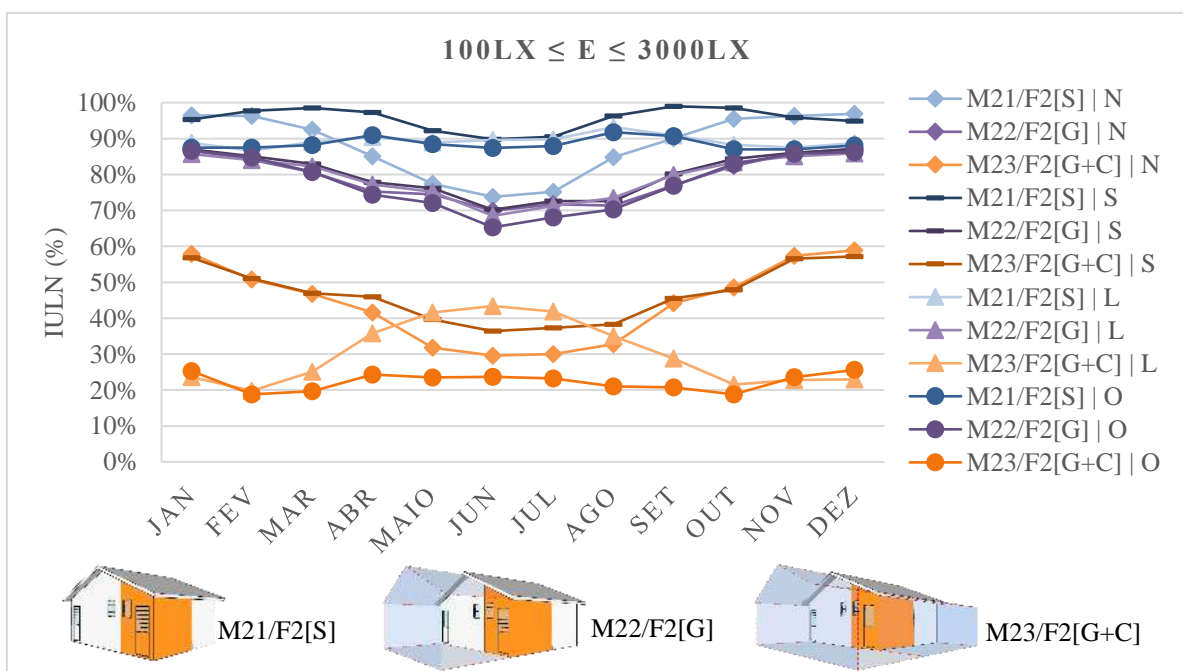
habitacional de interesse social e análise da capacidade de tubos de luz natural de contribuir com a resiliência da edificação.

#### 4.2.1 Análises e Resultados IULN

A IULN foi processada para os modelos que compõem o Grupo 7, e os resultados podem ser observados no **Gráfico 9**. O modelo M21/F2[S] (sem alteração), como já esperado, apresenta os maiores percentuais de iluminância na faixa útil ( $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ ) para todas as orientações. Por outro lado, o modelo M23/F2[G+C] (com acréscimo de garagem e cômodo) para todas as orientações, apresenta os menores percentuais, com decréscimo que atinge até 80% em relação ao modelo M21/F2[S] (sem alteração). Já no modelo M22/F2[G] (com acréscimo de garagem), este percentual de redução é menor, chegando a 35%.

Estes resultados apontam que a construção de cômodos e áreas cobertas contíguas às aberturas podem causar uma expressiva redução do acesso da luz natural no ambiente interno, acarretando muitas vezes uma iluminação natural inadequada para a realização das atividades e conseqüentemente o aumento da demanda pela iluminação artificial, com mitigação do desempenho energético da edificação.

**Gráfico 9.** Percentual Mensal de IULN para M21/F2[S], M22/F2[G] e M23/F2[G+C], Faixa útil  $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ .

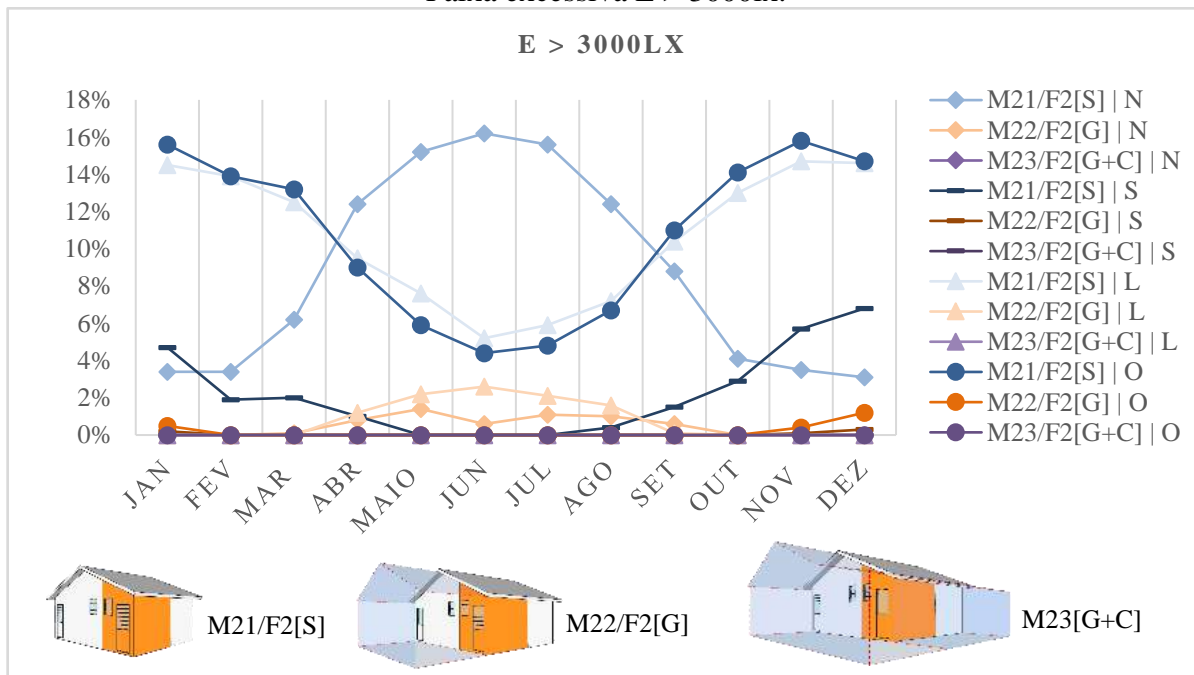


Fonte: Autores, 2024.

Vale ressaltar que apesar do modelo M21/F2[S] (sem alteração) para orientação Norte apresentar, entre os meses de abril e agosto, os menores percentuais na faixa útil ( $100lx \leq E \leq 3000lx$ ), este desempenho deve ser observado conjuntamente com a faixa de valores excessivos ( $E > 3000lx$ ), visto que para ela são alcançados valores próximos a 18%, o que pode acarretar ofuscamento e altos contrastes.

O **Gráfico 10** apresenta os percentuais mensais de IULN na faixa excessiva ( $E > 3000lx$ ) e para ela, como esperado, os modelos M22/F2[G] (com acréscimo de garagem) e M23/F2[G+C] (com acréscimo de garagem e cômodo) atingem positivamente os menores percentuais para todas as orientações. Isto é decorrente do fato de que nestes modelos há um bloqueio da iluminação direta em função do acréscimo de área. Por outro lado, a iluminação excessiva, mais presente no modelo M21/F2[S] (sem alteração), pode demandar controle desta parcela da radiação solar, por intermédio de elementos externos ou internos às aberturas ou ainda os acréscimos adotados como no modelo M22/F2[G] (com acréscimo de garagem).

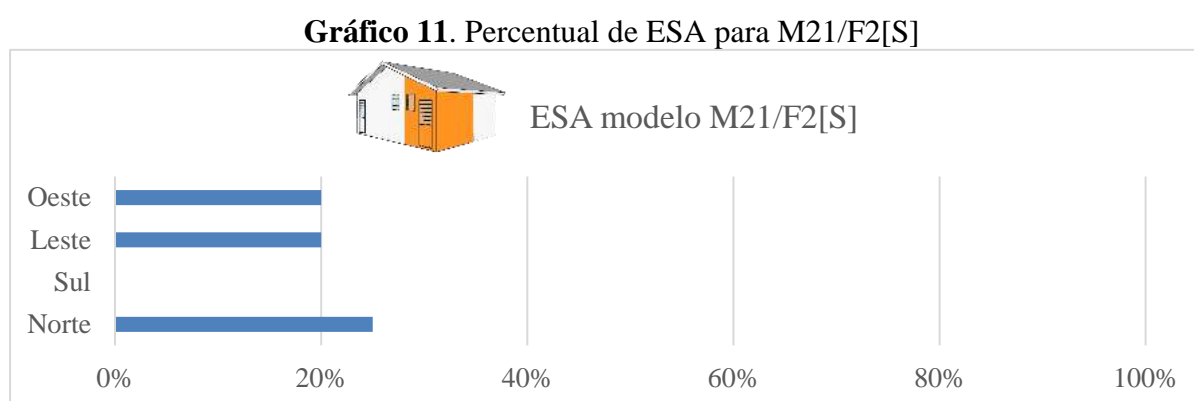
**Gráfico 10.** Percentual Mensal de IULN para M21/F2[S], M22/F2[G] e M23/F2[G+C], Faixa excessiva  $E > 3000lx$ .



Fonte: Autores, 2024.

### 4.2.2 Análises e Resultados ESA

Para ESA, com vistas os resultados encontrados em IULN faixa excessiva  $E > 3000$  lx, procedeu apresentação de valores desta métrica apenas para o modelo M21/F2[S], que podem ser visualizados do **Gráfico 11**. Os modelos M22/F2[G] e M23/F2[G+C], para todas as orientações, apresentaram resultados nulos quanto a parcela de luz direta.



Fonte: Autores, 2024.

Com exceção da orientação Sul, foi encontrado altos valores de ESA para o modelo M21/F2[S], classificados como insatisfatórios ( $>10\%$ ) segundo a IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012). Altos valores quanto a parcela de luz direta pode prejudicar a performance do ambiente, com vistas a eficiência energética, pois aumentam a carga térmica e demanda por resfriamento. Além disto, podem trazer prejuízos para o conforto visual, ao causarem ofuscamento. Neste sentido, faz-se necessária a inserção de proteções solares, a fim de controlar os níveis de iluminância excessiva e parcela da radiação solar direta.

### 4.2.3 Análises e Resultados UMA

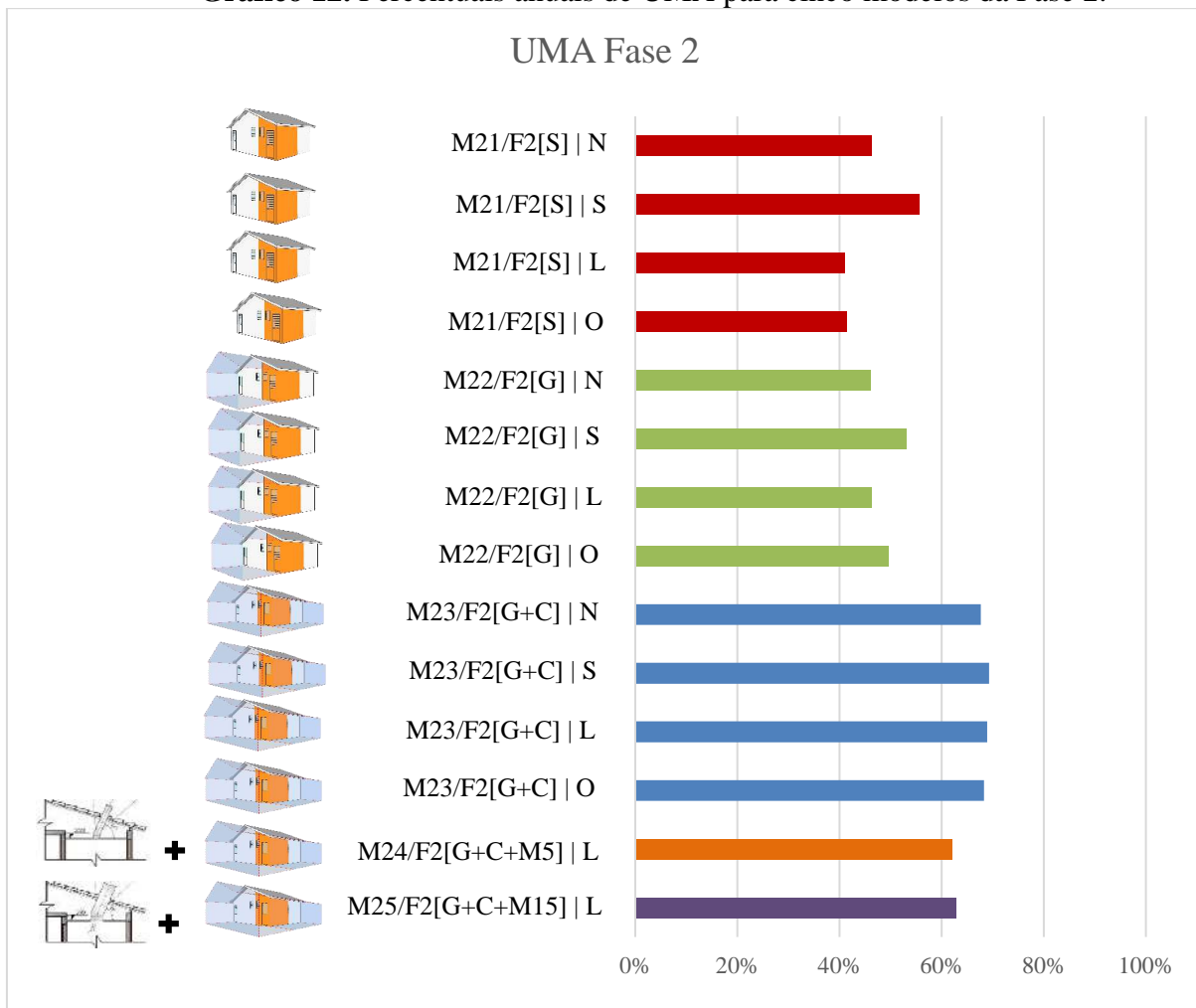
No que diz respeito a UMA, o processamento desta métrica ocorreu para os modelos do Grupo 7 e Grupo 8 e os resultados podem ser observados no **Gráfico 12**. Percebe-se que apenas o modelo M23/F2[G+C] (cozinha com acréscimo de garagem e cômodo contíguos), para todas as orientações, conseguiu atingir valor próximo à uniformidade da iluminância mínima de 0,7 ou 70% estabelecido pela NBR ISO/CIE 8.995-1 (ABNT, 2013). Isto provavelmente é decorrente da diminuição da parcela de luz solar direta. Apesar disso, é necessário considerar a

diminuição da disponibilidade de luz natural a partir do acréscimo de área construída contígua à cozinha.

Por outro lado, os piores resultados para esta métrica são encontrados para o modelo M21/F2[S], orientações Leste e Oeste, provavelmente em decorrência dos altos valores de iluminância próximos às aberturas laterais e parcela de luz direta, que diminuem gradativamente até porções mais profundas do ambiente, prejudicando a uniformidade.

Quanto a inserção de tubos de luz natural ao modelo M23/F2[G+C] com aberturas laterais para leste, como pode ser observado em M24/F2[G+C+M5] e M25/F2[G+C+M15], acarretou prejuízos para a uniformidade em torno de 6% à 7%, possivelmente por aumentar a concentração da iluminância ao centro da malha de medição. Apesar disto, deve ser considerada uma melhor disponibilidade de luz natural a partir da adoção dos tubos de luz natural.

**Gráfico 12.** Percentuais anuais de UMA para cinco modelos da Fase 2.



Fonte: Autores, 2024.

#### 4.2.4 Análises e Resultados ALNe




A **Tabela 10**, **Tabela 11** e **Tabela 12** apresentam respectivamente valores de ALNe, nível mínimo (60lx), intermediário (90lx) e superior (120lx), para os modelos:

- M23/F2[G+C] | L (cozinha com acréscimo de garagem e cômodo, orientação Leste);
- M24/F2[G+C+M5] (modelo M23/F2[G+C] | L com inserção de tubo de luz natural M5/F1[69°/1.2x0.2m/J]);
- M25/F2[G+C+M15] (modelo M23/F2[G+C] | L com inserção de tubo de luz natural M15/F1[69°/1.2x0.4m/J]).

O modelo de cozinha, com acréscimos representativos da autoconstrução, apresenta diminuição gradual da porcentagem de área suprida com até 100% de iluminância estipulada em cada nível, de forma que para as categorias  $\geq 75\%$  preferível,  $> 55\%$  aceitável e  $< 55\%$  insuficiente, determinadas pela IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012) obtêm-se: para o nível 60lx, em torno de 7 horas com porcentagem preferível e 3 horas com porcentagem insuficiente; para o nível 90lx, em torno de 5 horas com porcentagem preferível, 2 horas com porcentagem aceitável e 3 horas com porcentagem insuficiente; para o nível 120lx apenas, aproximadamente 1 hora com porcentagem aceitável. Estes resultados indicam possíveis prejuízos à disponibilidade de luz natural, proveniente de aberturas convencionais, decorrentes da autoconstrução.

Por outro lado, os modelos M24/F2[G+C+M5] e M25/F2[G+C+M15] apresentam resultados satisfatórios, com vistas uma maior disponibilidade de luz natural, como demonstrado na **Tabela 12** onde, para o nível superior de 120 lux, os modelos garantem aproximadamente porcentagem preferível durante respectivamente, 6 e 8 horas. Isto demonstra a capacidade de contribuição de aberturas não convencionais para a iluminação natural, como também o potencial de tubos de luz natural de contribuir com a resiliência da edificação.




**Tabela 10.** Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 60lx, para modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo e modelos de Grupo 8.

MODELO / HORA	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
M23/F2[G+C]   L 	30	100	100	100	100	100	100	100	95	35	0
M24/F2[G+C+M5] 	45	100	100	100	100	100	100	100	100	100	40
M25/F2[G+C+M15] 	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ESCALA	100	95	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0

Fonte: Autores, 2024.




**Tabela 11.** Percentuais de ALNe sob nível intermediário de 90lx, para modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo e modelos de Grupo 8.

MODELO / HORA	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
M23/F2[G+C]   L 	0	40	60	75	85	90	75	60	40	0	0
M24/F2[G+C+M5] 	0	80	100	100	100	100	100	100	100	75	0
M25/F2[G+C+M15] 	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	35

ESCALA	100	95	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0

Fonte: Autores, 2024.

**Tabela 12.** Percentuais de ALNe sob nível superior de 120lx, para modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo e modelos de Grupo 8.

MODELO / HORA	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
M23/F2[G+C]   L 	0	0	0	10	40	60	35	15	5	0	0
M24/F2[G+C+M5] 	0	20	90	100	100	100	100	100	85	40	0
M25/F2[G+C+M15] 	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0



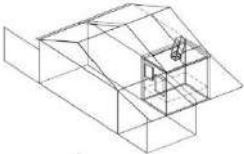
ESCALA	100	95	80	75	60	55	40	35	20	15	5	0

Fonte: Autores, 2024.

#### 4.2.5 Análises e Resultados EMA

Para os resultados de EMA, expostos na **Tabela 13**, observa-se que os valores médios de iluminância encontrados para o modelo M23/F2[G+C] | L, estão próximos ao mínimo de 60lx estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Por outro lado, os modelos nos quais foram inseridos tubos de luz natural, M24/F2[G+C+M5] e M25/F2[G+C+M15], mantêm valores médios de iluminância acima do nível superior estabelecido pela mesma norma. Além disso, o modelo M24/F2[G+C+M5] consegue até mesmo duplicar a iluminância média encontrada no ambiente, enquanto que o modelo M25/F2[G+C+M15] chega a quintuplicar estes valores. Isto demonstra a capacidade de tubos de luz natural de disponibilizar iluminação natural em níveis superiores àqueles exigidos pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), garantindo níveis adequados de iluminância mesmo após processos prejudiciais de autoconstrução.

**Tabela 13.** Percentuais de Iluminância Média Anual (EMA), para modelo de cozinha com acréscimo de garagem e cômodo e modelos de Grupo 8.

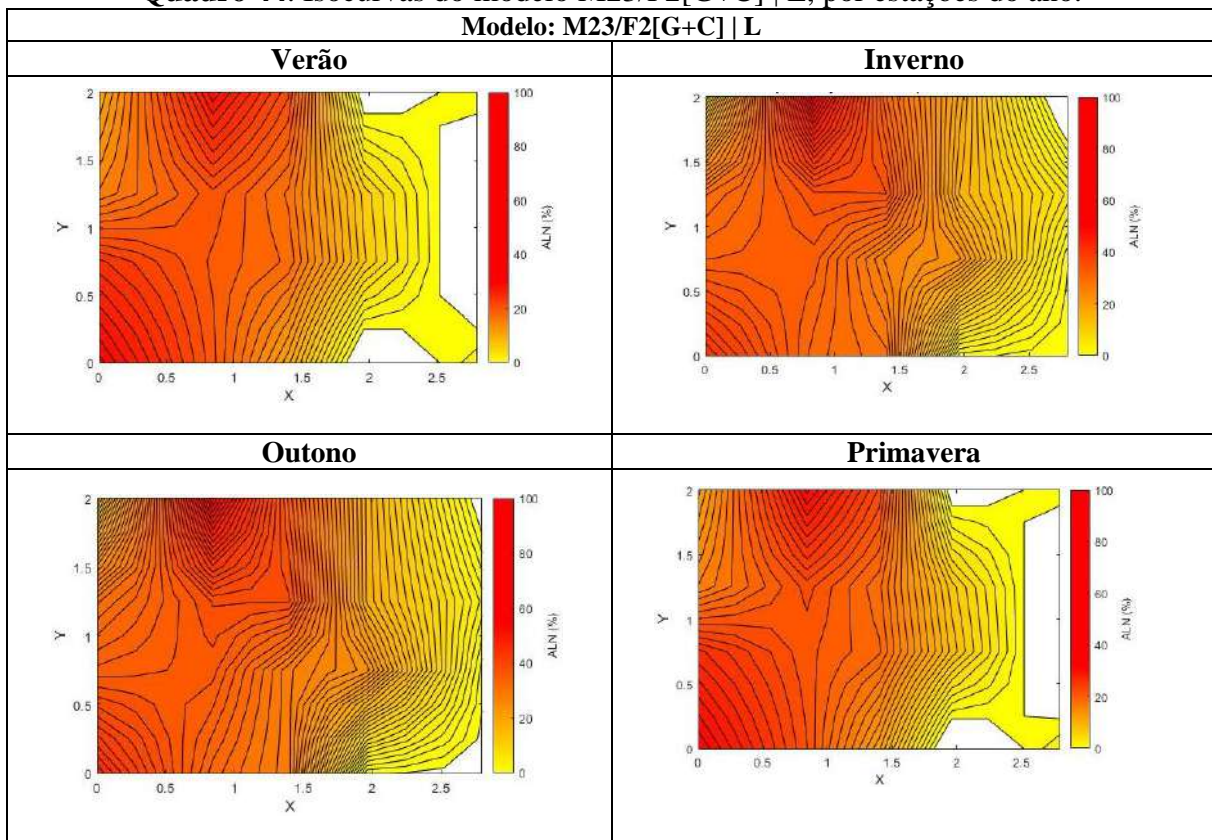
Modelos x Estações		Verão	Outono	Inverno	Primavera
M23/F2[G+C]   L		69.8	81.9	77.8	70.9
M24/F2[G+C+M5]		152.2	175.1	166	154.8
M25/F2[G+C+M15]		366.5	351.2	333.7	373.3
Aumento percentual entre M23/F2[G+C]   L e M24/F2[G+C+M5].		118%	114%	113%	118%
Aumento percentual entre M23/F2[G+C]   L e M25/F2[G+C+M15].		425%	329%	329%	426%

Fonte: Autores, 2024.

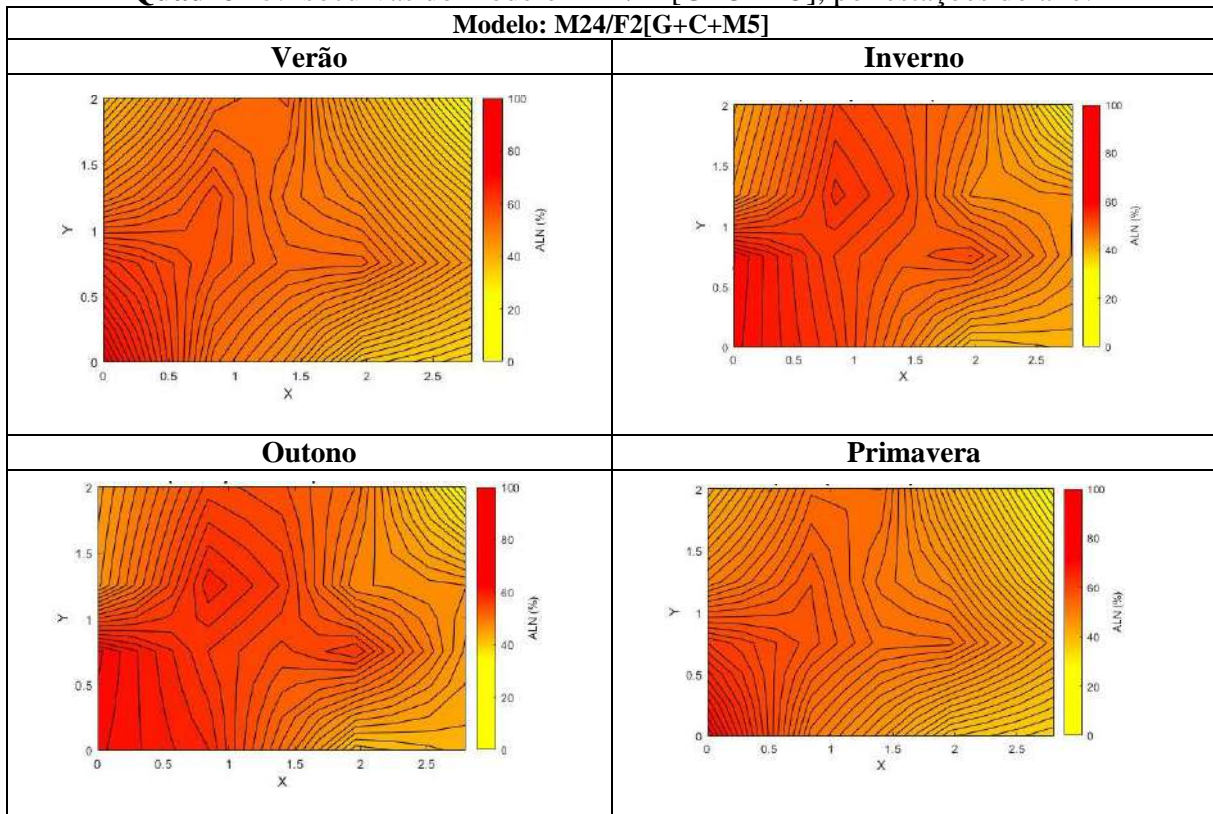
#### 4.2.6 Análises e Resultados Isocurvas

As isocurvas são processadas para os modelos M23/F2[G+C] | L, M24/F2[G+C+M5] e M25/F2[G+C+M15]. Na análise é possível perceber através do **Quadro 44**, **Quadro 45** e **Quadro 46**, que para o modelo M23/F2[G+C] | L, os maiores valores de iluminância concentram-se próximos às aberturas laterais, de forma que entre  $\frac{1}{2}$  e  $\frac{1}{3}$  da área da cozinha observa-se um decaimento da iluminância que se intensifica até as áreas mais profundas deste ambiente. Por outro lado, nos modelos com acréscimo de tubo de luz natural, M24/F2[G+C+M5] e M25/F2[G+C+M15], há uma melhoria da distribuição da iluminância em áreas mais profundas, visto que o sistema disponibiliza luz natural a partir do centro do ambiente.

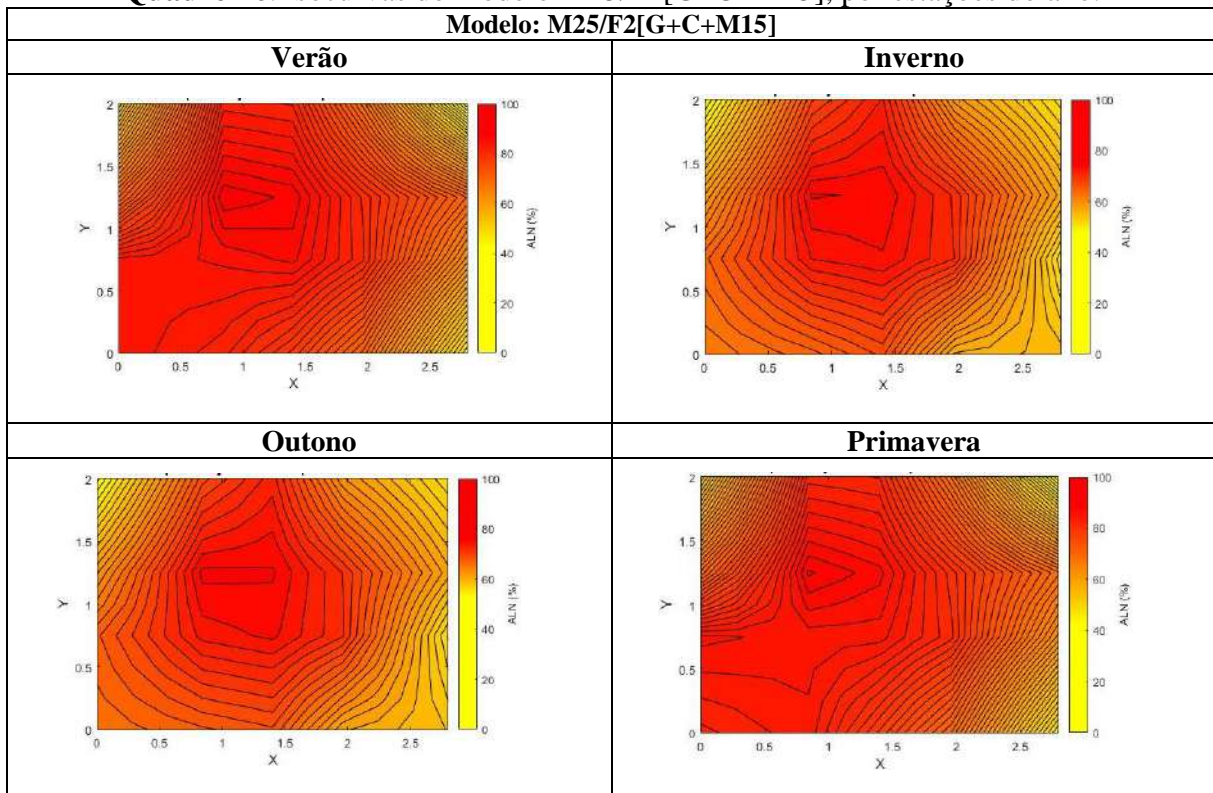
**Quadro 44.** Isocurvas do modelo M23/F2[G+C] | L, por estações do ano.



Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 45.** Isocurvas do modelo M24/F2[G+C+M5], por estações do ano.

Fonte: Autores, 2024.

**Quadro 46.** Isocurvas do modelo M25/F2[G+C+M15], por estações do ano.

Fonte: Autores, 2024.

### 4.2.7 Investigação

Tendo em vista os valores de Iluminância média anual, é possível também realizar comparação entre os modelos de tubos de luz natural analisados nesta fase, com fontes artificiais de iluminação.






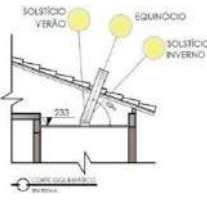
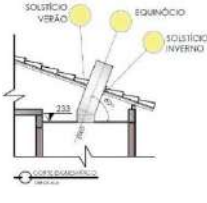
A partir da equação de cálculo de iluminância  $E = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}$  (OSRAM, [201-?]), sabendo que a área do ambiente corresponde a 5,6 m<sup>2</sup> e as iluminâncias médias anuais para M24/F2[G+C+M5] e para M25/F2[G+C+M15] são de respectivamente 154,1lx e 321,1lx, calcula-se o fluxo luminoso:

$$154,1 = \frac{\text{lm}}{5,6} \quad \text{lm} = 862,96 \text{ lm}$$

$$321,1 = \frac{\text{lm}}{5,6} \quad \text{lm} = 1798,16 \text{ lm}$$

A seguir no **Quadro 47**, a partir dos resultados do cálculo de fluxo luminoso e informações de lâmpadas de LED disponíveis no mercado, demonstra-se a equivalência aproximada entre os modelos de tubos de luz natural e fontes artificiais de iluminação.

**Quadro 47.** Equivalência entre tubo de luz natural e fonte artificial de iluminação a partir do fluxo luminoso.

Lâmpada x Modelo	Bulbo 7w  560 lm	Bulbo 9w  803 lm	Bulbo 12w  1018 lm	Bulbo 15w  1311 lm	Ultra Bulbo 20w  1600 lm
M24/F2[G+C+M5] 	-	862,96 lm	-	-	-
M25/F2[G+C+M15] 	-	-	-	-	1798,16 lm

Fonte: Autores, 2024, com base em informações de produtos do fornecedor Brilia (Brilia, 2024).

#### 4.2.8 Síntese dos Resultados Fase 2

A seguir no **Quadro 48**, são pontuados os resultados gerais mais relevantes observados na Fase 2, e resultados quanto aos impactos da autoconstrução e inserção de tubos de luz natural, com vistas a resiliência da habitação.

**Quadro 48.** Síntese dos resultados gerais quanto aos impactos da autoconstrução e inserção de tubos de luz natural.

<b>QUADRO SÍNTESE</b>	
Resultados gerais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A autoconstrução pode acarretar redução do acesso da luz natural no ambiente interno, aumentando da demanda pela iluminação artificial, com mitigação do desempenho energético da edificação.</li> <li>• Ausência de proteções solares podem acarretar altos valores de iluminância excessiva (IULN - <math>E &gt; 3000</math>) e exposição solar direta (ESA), com prejuízos de performance.</li> <li>• A execução de varandas contíguas às aberturas podem ser soluções desejáveis em casos de iluminância excessiva e radiação solar direta.</li> <li>• Uma adequada orientação cartográfica das aberturas pode diminuir os valores de iluminância excessiva.</li> <li>• A associação de tubos de luz natural pode ser uma medida adequada para aumento da iluminância em casos de autoconstrução e resiliência da habitação.</li> <li>• Tubos de luz natural podem ser adequados para aumento da iluminância em regiões profundas do ambiente.</li> <li>• A inserção de tubos de luz natural não garante melhora da uniformidade.</li> <li>• Os modelos de tubos de luz natural analisados em M24/F2[G+C+M5] e M25/F2[G+C+M15] podem garantir iluminação equivalente a, respectivamente, uma lâmpada bulbo 9W e uma lâmpada ultra bulbo 20W.</li> </ul>

Fonte: Autores, 2024.

5.1 Conclusões da Fase 1

5.2 Conclusões da Fase 2

5.3 Considerações finais

# 5

## CONCLUSÃO

## 5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo geral analisar a performance lumínica de tubos de luz natural em ambiente de habitação unifamiliar de interesse social. Através da metodologia adotada, baseada na análise de simulações computacionais com o auxílio do software TropLux, buscou-se dados que verifiquem a funcionalidade e atestem a utilização de sistemas não convencionais de iluminação natural, como tubos de luz natural, em habitações de interesse social no Espírito Santo.

O primeiro objetivo específico foi analisar a influência do comprimento e da inclinação do tubo, adição de Joelho ao sistema, como também a influência de diferentes dimensões da seção do tubo na disponibilidade de luz natural no ambiente interno. Para isto foram desenvolvidos vinte modelos de tubos de luz natural, submetidos a diversos parâmetros. Essas análises foram realizadas na Fase 1.

O segundo objetivo específico foi diagnosticar a influência da autoconstrução na disponibilidade de luz natural no ambiente interno. Desta forma, por meio de estudo de caso de conjunto habitacional de interesse social, identificou-se padrões de autoconstrução que basearam o desenvolvimento de três modelos de cozinha, com ou sem alteração contíguas, submetidos a diferentes orientações das aberturas e parâmetros. Estes procedimentos constituem a primeira etapa da Fase 2.

O terceiro objetivo específico foi demonstrar a utilização de tubos de luz natural como prática que assegure a resiliência da habitação de interesse social. Para isto, foram construídos dois modelos que unem modelos que apresentaram melhores performances na Fase 1 com modelo de cozinha da primeira etapa da Fase 2.

### 5.1 CONCLUSÕES DA FASE 1

Na Fase 1 procedeu simulações para vinte modelos, divididos em seis grupos: Grupo 1, três modelos com comprimento de 1,2m, seção 20x20 cm, inclinações de 37°, 69° e 103°, sem Joelho; Grupo 2, três modelos com comprimento de 1,2m, seção 20x20 cm, inclinações de 37°, 69° e 103°, com Joelho (0,10m<sup>2</sup>); Grupo 3, quatro modelos comprimento de 1,65m, seção 20x20 cm, inclinações de 0°, 39°, 69° e 101°, com Joelho (0,10m<sup>2</sup>); Grupo 4, Grupo 5 e Grupo 6, dez modelos construídos a partir dos modelos dos grupos 1, 2 e 3, cuja dimensão da seção foi dobrada (0,4x0,4 m) e a área do Joelho passa a ser 0,40m<sup>2</sup>.

Os resultados de IULN para os modelos dos grupos 1, 2 e 3, demonstram que tubos de iluminação natural com maiores inclinações ( $69^\circ$ ,  $101^\circ$  e  $103^\circ$ ), associadas a joelhos, apresentam melhores performances, dos quais os modelos do Grupo 2 obtiveram os melhores resultados. Em concordância, os resultados de ALNe também apontam como melhores os modelos com maiores inclinações ( $69^\circ$ ,  $101^\circ$  e  $103^\circ$ ), pertencentes ao Grupo 2 e Grupo 3.

Quanto aos modelos dos grupos 4, 5 e 6, mesmo após o aumento da seção do tubo de luz natural, os modelos com maiores inclinações continuam a apresentar os melhores resultados. Esta alteração contribuiu com a diminuição do percentual da faixa insuficiente ( $E < 100$ ) de até 49%. Em conformidade, para ALNe, o aumento da dimensão da seção do tubo de luz natural proporcionou maior quantidade de horas atendidas com valores a partir da categoria  $> 55\%$  aceitável: até 2 horas a mais para o limite 60lx; até 3 horas a mais para o limite 90lx; até 7 horas a mais para o limite 120lx.

Para os resultados de EMA, observa-se nos modelos dos grupos 1, 2 e 3, que a adoção de joelho proporcionou melhora da performance entre 6% à 174%, a alteração da inclinação em alguns modelos mais do que dobrou a iluminância média e o aumento do comprimento decaimento da iluminância média entre 1% à 23,2%. Para esta métrica os modelos M5/F1[ $69^\circ/1.2 \times 0.2\text{m/j}$ ] e M6/F1[ $103^\circ/1.2 \times 0.2\text{m/j}$ ], pertencentes ao Grupo 2, obtiveram os melhores resultados em pelo menos duas estações do ano. Por outro lado, os modelos que obtiveram os piores resultados em todas as épocas do ano são M1/F1[ $37^\circ/1.2 \times 0.2\text{m}$ ] e M7/F1[ $0^\circ/1.65 \times 0.2\text{m/j}$ ].

Quanto aos grupos 4, 5 e 6, observa-se que o aumento da dimensão da seção pode contribuir com ganhos lumínicos, entretanto não é o único fator determinante para uma melhor performance do tubo, visto que alguns modelos apresentaram diminuição dos valores de iluminância média de até 11,8%. Por outro lado, esta alteração também gerou aumentos da iluminância média muito expressivos, promovendo ganhos até cinco vezes maiores, no qual o modelo M11/F1[ $37^\circ/1.2 \times 0.4\text{m}$ ] apresentou o maior aumento.

Todos os modelos para ESA alcançaram resultados em aceitável  $< 3\%$ , segundo a IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012), por outro lado, não alcançaram para UMA resultados satisfatórios que, segundo a ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 (2013), devem ser superiores a 70%.

Por fim, como esperado na análise de isocurvas dos grupos 1, 2 e 3, para o valor de iluminância de 120 lx, estabelecido pela NBR 15575 - 1 (ABNT, 2013) como superior, a ocorrência se dá mais ao centro do ambiente, em conformidade com a posição do tubo de luz

natural. Já para os grupos 4, 5 e 6, observa-se que em mais de 1/3 da área do ambiente possivelmente o valor de 120lx é mantido pelo menos entre 60% a 70% das horas simuladas.

## 5.2 CONCLUSÕES DA FASE 2

Na Fase 2 procedeu simulações para 5 modelos, divididos em dois grupos: Grupo 7, cozinha sem alteração, cozinha com acréscimo de garagem e cozinha com acréscimo de garagem e cômodo; Grupo 8, cozinha com acréscimo de garagem e cômodo com inserção dos modelos de tubo de luz natural M5/F1[69°/1.2x0.2m/J] e M15/F1[69°/1.2x0.4m/J].

A análise de IULN foi realizada para os modelos do Grupo 7, dos quais o modelo M21/F2[S] (sem alterações) apresentou maiores percentuais na faixa útil  $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ , enquanto que os modelos com alterações apresentaram decaimento que chega a 35% e 80%, dos quais M23/F2[G+C] (com acréscimo de garagem e cômodo), para todas as orientações, apresenta os piores resultados. Apesar dos bons resultados na faixa útil, o modelo M21/F2[S] apresenta valores altos indesejáveis na faixa excessiva  $E > 3000\text{lx}$ . Isto pode ser confirmado com os resultados de ESA que evidenciam valores insatisfatórios (>10%) segundo a IES LM-83-12 (Illuminating..., 2012), para a parcela de radiação solar direta.

Para UMA verifica-se uniformidade próxima a 70% no modelo M23/F2[G+C], apesar disso, o mesmo apresenta baixa performance quanto aos valores de iluminância. Neste sentido, mesmo que a inserção dos tubos de luz natural possa garantir altos valores de iluminância, a uniformidade não é garantida com a inserção deste dispositivo

As análises de ALNe e EMA são realizadas para os modelos do Grupo 8 e o modelo M23/F2[G+C] (com acréscimo de garagem e cômodo), com o objetivo de verificar a melhora da performance do ambiente de cozinha a partir da adoção de tubos de luz natural. Como resultados de ALNe, os modelos M24/F2[G+C+M5] e M25/F2[G+C+M15] garantem aproximadamente porcentagem preferível durante respectivamente, 6 e 8 horas, para o nível de 120 lux, enquanto que os resultados de EMA demonstram que M24/F2[G+C+M5] e M25/F2[G+C+M15] conseguem respectivamente, duplicar e quintuplicar a iluminância média.

Por fim, é possível verificar em isocurvas que a área profunda do ambiente de cozinha, no modelo M23/F2[G+C] orientado para leste, é pouco atendida com iluminância proveniente de aberturas laterais, por outro lado, o acréscimo de tubo de luz natural gera uma melhoria da distribuição da iluminância.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como conclusão geral, constatou-se que o comprimento e a inclinação do tubo de luz natural, adição de joelho ao sistema e diferentes dimensões da seção do tubo, interferem em medidas diferentes na disponibilidade de luz natural no ambiente interno. Destes destacam-se como fatores preponderantes a inclinação e dimensão da seção do tubo, de forma que a mudança da inclinação mais do que dobrou os ganhos de iluminância média, enquanto que o aumento da dimensão da seção do tubo contribuiu com ganhos de iluminância média até cinco vezes maiores.

Além disto, atesta-se a possibilidade de utilização de tubos de luz natural objetivando a resiliência da habitação de interesse social, visto que este sistema demonstrou ser capaz de contribuir e manter a disponibilidade de iluminação natural em níveis superiores, indicados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), em até oito horas.

Tendo em vista os resultados alcançados nesta pesquisa, a mesma traz contribuições para a área de conforto lumínico, com vistas os benefícios psicofisiológicos da iluminação natural para os usuários, eficiência energética com mitigação de gastos com energia elétrica e resiliência da habitação de interesse social a partir do uso de sistemas não convencionais de iluminação natural. Além disto, a mesma servirá de base científica para estudos quanto aos impactos da autoconstrução na disponibilidade de luz natural, poderá ser utilizada como referência metodológica para o estudo de tubos de luz natural, seus componentes e variáveis deste sistema tais como a adição de joelho, diferentes inclinações, diferentes comprimentos e diferentes dimensões de seção do tubo. Além disso esta pesquisa proporciona a exposição e divulgação de técnica de iluminação natural não convencional e fomenta o estudo de iluminação natural em habitação de interesse social.

Como limitações da pesquisa cita-se a inexistência de testes com modelos reais ou em escala reduzida, como também a complexidade de manipulação de algumas variáveis através do software Troplux, como a configuração de superfície difusora do tubo de luz natural, o que dificulta uma maior precisão e identificação da parcela de contribuição de cada uma das partes componentes do sistema.

Por fim, para pesquisas futuras sugere-se o estudo do fracionamento da luz proveniente de tubos de luz natural, com vistas uma melhor performance quanto ao aspecto da uniformidade, haja vista que este parâmetro de análise não foi atendido pelos modelos analisados. Também se sugere o estudo da viabilidade econômica e do desenvolvimento de tubos de luz natural multiobjetivo de baixo custo, visando a popularização de sistemas não convencionais de iluminação natural em habitações de interesse social, que contribuam com a resiliência da habitação.

## REFERÊNCIAS

## REFERÊNCIAS

ABIKO, Alex Kenya; ORNSTEIN, Sheila Walbe. **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social**. São Paulo: Habitare/FINEP, 2002. 373 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. ABNT, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Illuminância de Interiores**. ABNT NBR ISO/CIE 8995-1, 2013.

BELO HORIZONTE. Lei nº9725 - **Institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e Dá Outras Providências**. Poder executivo, 2009. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg>. Acesso em: 24 abr. 2023

BORTOLI, K. C. R. de; VILLA, S. B. **Adequação ambiental como atributo facilitador da resiliência no ambiente construído em Habitações de Interesse Social**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 391-422, jan./mar. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000100381>. Acesso em: ago. 2022.

BOUBEKRI, Mohamed. **Daylighting, architecture and health: building design strategies**. Routledge, 2008.

BOYCE, Peter Robert. **Human Factors in Lighting**. 3ª Edição, New York: Taylor & Francis Group, 2014.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **O que é o déficit habitacional**. Brasília, 2022 Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/casa-verde-e-amarela/o-que-e-o-deficit-habitacional#:~:text=O%20termo%20d%C3%A9ficit%20habitacional%2C%20em,ou%20que%20n%C3%A3o%20possuem%20moradia..>Acesso em: ago. 2022.

BRASIL. Senado Federal. **As novas possibilidades para o programa Minha Casa, Minha Vida**. Senado Notícias, Brasília, 05 maio 2018. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/as-novas-possibilidades-para-o-programa-minha-casa-minha-vida>. Acesso em: 8 ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 11.888, de 24 de maio de dezembro de 2008. Assegura às famílias de baixa renda assistência técnica pública e gratuita para o projeto e a construção de habitação de interesse social e altera a Lei no 11.124, de 16 de junho de 2005. Disponível em: . Acesso em: 28 nov. 2023.

CABÚS, Ricardo C.; RIBEIRO, Pedro V. S.; BASTOS, Orestes M. K.; SILVA, Luís F. **TropLux 8**. Titulares: Universidade Federal de Alagoas, Instituto Lumeeiro. BR512020002087-9. Criação: 10 set. 2019. Registro: 06 out. 2020.

CABÚS, Ricardo C. **TropLux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações**. Encontro Latino-Americano, v. 4, p. 240-249, 2005.

CABÚS, Ricardo Carvalho. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil**. 2002. Tese de Doutorado. University of Sheffield.

CABÚS, R. C.; RIBEIRO, P. V. S. **Aprendendo a utilizar o TropSolar 5**. Maceió: Instituto Lumeeiro, 2015. <link> Contato por e-mail com o suporte TropSolar

CAPELUTO, I. G. **The Influence of The Urban Environment on the Availability of Daylighting in Office Buildings in Israel**. Building and Environment, v. 38, n. 5, p. 745-752, may 2002.

CAU/BR – Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil. **Pesquisa CAU/BR – Data Folha 2022**. CAU, Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.caubr.gov.br/pesquisa2022/>. Acesso em: 7 ago. 2022.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO E URBANIZAÇÃO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Projeto Arquitetônico**. Vitória: COHAB, 2006.

CORBELLA, Oscar Daniel; CÖRNER, Viviane Nayala. **Manual de Arquitetura Bioclimática Tropical: Para Redução do Consumo Energético**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2015. 111 p. v. 1.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em Busca de Uma Arquitetura Sustentável Para os Trópicos** [2.ed.]

DABIJA, Ana-Maria. Building with the Sun. Passive Solar Daylighting Systems in Architecture. In: **Nearly Zero Energy Communities: Proceedings of the Conference for Sustainable Energy (CSE) 2017 5**. Springer International Publishing, 2018. p. 80-88.

DA FONSECA, Raphaela Walger; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; CLARO, Anderson. Iluminação natural: a contribuição de suas reflexões no interior do ambiente construído. **PosFAUUSP**, n. 28, p. 198-217, 2010.

DEPNER, Christopher M. et al. **Ad libitum weekend recovery sleep fails to prevent metabolic dysregulation during a repeating pattern of insufficient sleep and weekend recovery sleep**. Current Biology, v. 29, n. 6, p. 957-967. e4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.01.069>. Acesso em: 8 ago. 2022.

ELKALASHY, Ola et al. High colour rendering index and warm emission of conventional white-LED capped with metal-phthalocyanine/CdSe nanocomposites. **Optical Materials**, v. 146, p. 114495, 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt>. Acesso em: 31 de agosto de 2022.

ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano. **Unidades Habitacionais Construídas no Espírito Santo de 2003 a 2009**. Instituto Jones dos Santos Neves, 2016. Disponível em: [sedurb.es.gov.br](http://sedurb.es.gov.br). Acesso em julho de 2024.

FISCHER, Stéphane. **Jean-Daniel Colladon: Geneva scholar and industrialist**. Musée d'histoire des sciences, Villa Bartholoni, 2010. Disponível em: [www.ville-ge.ch](http://www.ville-ge.ch). acesso em junho de 2024

FIEDERER, Luke. **“Clássicos da Arquitetura: Panteão Romano / Imperador Adriano”** [AD Classics: Roman Pantheon / Emperor Hadrian] 09 Jan 2017. ArchDaily Brasil. (Trad. Souza, Eduardo) Acessado 14 Jun 2024. <<https://www.archdaily.com.br/br/802972/classicos-da-arquitetura-panteao-romano-imperador-adriano>> ISSN 0719-8906

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações Déficit habitacional no Brasil por cor ou raça 2016-2019 / Fundação João Pinheiro, Diretoria de Estatística e Informações. – Belo Horizonte: FJP, 2022.

GARCIA HANSEN, V.; EDMONDS, I.; BELL, J. Improving daylighting performance of mirrored light pipes. In: **Paper for 26th International Conference on Passive and Low Energy Architecture: Architecture Energy and the Occupant's Perspective, PLEA**. 2009. p. 308-313.

GARCIA HANSEN, Veronica; EDMONDS, Ian; HYDE, Richard. The use of light pipes for deep plan office buildings: a case study of Ken Yeang's bioclimatic skyscraper proposal for KLCC, Malaysia. **ANZAsCA 2001**, 2001.

GUPTA, Anurag; LEE, Junwon; KOSHEL, R. John. Design of efficient lightpipes for illumination by an analytical approach. **Applied optics**, v. 40, n. 22, p. 3640-3648, 2001.

HELIOBUS. **Light Pipe**. Heliobus, figura. Disponível em [heliobus.com](http://heliobus.com). acesso em junho de 2024

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 12ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 2015.

HENG, C. Y. S.; LIM, Yaik-Wah; OSSEN, Dilshan Remaz. **Horizontal light pipe transporter for deep plan high-rise office daylighting in tropical climate**. *Building and Environment*, v. 171, p. 106645, 2020.

HOURANI, May M.; HAMMAD, Rizeq N. Impact of daylight quality on architectural space dynamics: Case study: City Mall–Amman, Jordan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3579-3585, 2012.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **LM-83-12: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York, 2012.

KIM, Jeong Tai; KIM, Gon. Overview and new developments in optical daylighting systems for building a healthy indoor environment. **Building and environment**, v. 45, n. 2, p. 256-269, 2010.

KNOOP, Martine et al. **Daylight: what makes the difference?**. *Lighting Research & Technology*, v. 52, n. 3, p. 423-442, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1477153519869758>. Acesso em: 7 ago. 2022.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. *Eficiência energética na arquitetura*. 3ª edição. **São Paulo: PW**, 2014.

LIGHTWAY. **Sun Tunnels**. 2023. Disponível em: <https://www.lightway.cz/english/>. Acesso em: 24 abr. 2023

LARANJA, Andrea Coelho; FERREIRA, Nathalia Simonetti; DE ALVAREZ, Cristina Engel. Análise da influência da variação das superfícies refletoras na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno na extensão de sua profundidade. **Labor e Engenharia**, v. 10, n. 1, p. 31-45, 2016.

LIMA, Eliana Costa; LEDER, Solange Maria. Conforto ambiental e eficiência energética na reciclagem de edifícios para habitação de interesse social. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 3, n. 2, p. 50-62, 2012.

LIMA, Mariana Regina Coimbra de. **Percepção Visual Aplicada à Arquitetura e à Iluminação**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2010. 145 p. v. 1.

LINKE, Clarisse Cunha et al. *Inserção Urbana de Habitação de Interesse Social: um olhar sobre mobilidade cotidiana e uso do solo*. 2016.

MALET-DAMOUR, Bruno; FAKRA, Damien Ali Hamada. Thermal and spectral impact of building integrated Mirrored Light Pipe to human circadian rhythms and thermal environment. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 41, n. 5, p. 492-513, 2022.

MALET-DAMOUR, Bruno; BIGOT, Dimitri; BOYER, Harry. Technological review of tubular daylight guide system from 1982 to 2020. **European Journal of Engineering and Technology Research**, v. 5, n. 3, p. 375-386, 2020.

MALET-DAMOUR, Bruno et al. Photometrical analysis of mirrored light pipe: From state-of-the-art on experimental results (1990–2019) to the proposition of new experimental observations in high solar potential climates. **Solar Energy**, v. 193, p. 637-653, 2019.

MALET-DAMOUR, Bruno. **Contribution à l'étude des dispositifs de guides lumineux tubulaires (DGLT) appliqués au bâtiment: expérimentation, modélisation et validation**. 2015. Tese de Doutorado. Université de la Réunion.

MEHROTRA, Sameer et al. Effective lighting design standards impacting patient care: a systems approach. **Journal of Biosciences and Medicines**, v. 3, n. 11, p. 54, 2015.

MARGUTI, Bárbara Oliveira. (2018). In: COSTA, MAGALHÃES, FAVARÃO (Org.). *Políticas de habitação. A nova agenda urbana e o Brasil: insumos para sua construção e desafios a sua implementação* Brasília: Ipea.

MANSFIELD, Ian. **The forgotten era of light Reflectors in London's alleys**. Blog, publicado em 17 de fevereiro de 2021. Disponível em: [ianvisits.co.uk](http://ianvisits.co.uk) . Acesso em junho de 2024.

MONODRAUGHT. **Natural Lighting: Sunpipe**. 2023. Disponível em: <https://www.monodraught.com/>. Acesso em: 24 abr. 2023

MOREIRA, Ramon Silva. **Loteamento COHAB**. Montanha, 2010. 1 mapa.

MÜNCH, Mirjam et al. **The role of daylight for humans: gaps in current knowledge**. *Clocks & sleep*, v. 2, n. 1, p. 61-85, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2624-5175/2/1/8>. Acesso em: 7 ago. 2022.

NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, v. 37, n. 1, p. 41-57, 2005.

OAKLEY, G.; RIFFAT, S. B.; SHAO, L. Daylight performance of lightpipes. **Solar energy**, v. 69, n. 2, p. 89-98, 2000.

OKIMOTO, Maria Lucia Leite Ribeiro; MARCHI, Sandra Regina; KRÜGER, Eduardo Leite. Influência da Cor das Paredes e do Layout das Aberturas no Aproveitamento da Luz Natural do Ambiente. **Estudos em Design**, v. 16, n. 1, 2008.

OSRAM, Iluminação: Conceitos e projetos. Recuperado de: [http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq\\_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af\\_Apostila\\_Conceitos\\_e\\_Projetos.pdf](http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af_Apostila_Conceitos_e_Projetos.pdf) . Acesso em junho de 2024.

OZORHONA, Ilker Fatih; URAZB, Turkan Ulusu. Natural light as a determinant of the identity of architectural space. 2014.

PEDROSA, Israel. **O Universo da Cor**. 2 figuras. 5 reimpr. Rio de Janeiro: Senac Nacional, 2012. 160 p. II.

PITANGA, Bruna Mascarenhas Gava et al. **Unidade Habitacional 2/44** / Especificações técnicas. Vitória: SEDURB, 2012.

PLESHKOV, Sergei et al. Solving air conditioning problems in a design project using energy-efficient daylighting systems based on hollow tubular light guides. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2020. p. 052030.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MONTANHA. **Entrevistas** / Secretaria de Assistência Social. Montanha: 2018

RODRIGUES, Carla Angélica S. Lima et al. **Projeto de Trabalho Técnico Social**. Montanha: Prefeitura Municipal de Montanha, 2009/20012. 9 p.

RIO DE JANEIRO. **Lei complementar nº 198 – Institui o Código de Obras e Edificações Simplificado do Município do Rio de Janeiro** – COES. Câmara Municipal, Poder Executivo, 2019. Disponível em: <https://lancamentos-rj.com/wp-content/uploads/2020/03/Novo->

C%3%B3digo-de-Obras-e-Edifica%C3%A7%C3%B5es-do-Rio.pdf. Acesso em: 24 abr. 2023

RUIZ, Yvan Figueiras. **Templo Karnak**. Blog [201?]. Disponível em: yvan.es . Acesso em junho de 2024.

SAFA, Daich et al. A Combined Method for an Exhaustive Investigation of the Anidolic Ceiling Effect on Improving Indoor Office Daylight Quality: an Approach Based on HDR Photography and Subjective Evaluations. **Journal of Daylighting**, v. 8, n. 2, p. 149-164, 2021.

SERN, Christopher Heng Yii; LIOU, Louis Ting Kwang; FADZIL, Sharifah Fairuz Syed. Daylighting Performance of Integrated Light Shelf with Horizontal Light Pipe System for Deep Plan High-Rise Office in Tropical Climate. **Journal of Daylighting**, v. 9, n. 1, p. 83-96, 2022.

SÃO PAULO. **Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento - SMUL. Código de obras e edificações: lei nº 16.642, de 9 de maio de 2017; decreto nº 57.776 de 7 de julho de 2017**; COE ilustrado. São Paulo: SMUL, 2017

SINGH, Simranjit; BISHT, Devendra Singh; GARG, Harry. A novel method for making laser cut panel based daylight collector coupled to a tubular light guide. **Solar Energy**, v. 218, p. 532-543, 2021.

SOLARSPOT. **Iluminação Natural**. 2023. Disponível em: <https://www.termipol.pt/comercializacao/iluminacao-natural-edesenfumagem/solarspot-iluminacao-natural/>. Acesso em: 24 abr. 2023

SOLATUBE. **Tubular Skylights**. 2023. Disponível em: <https://solatube.com/>. Acesso em: 24 abr. 2023

SORGATO, Marcio José et al. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 83-101, 2014.

SANTOS, Gabriel de Sousa; LARANJA, Andrea Coelho. Análise da performance lumínica de tubos de luz natural em ambientes de cozinha: Analysis of the lighting performance of natural light pipes in a kitchen environment. **ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 17, p. 1-10, 2023.

STUCHI, Pedro Victor Souza; BARROS, Raquel Regina Martini Paula. Desempenho térmico e lumínico no projeto da habitação social em Indaiatuba, SP: estudos de caso/Thermal and luminous performance in social housing design in Indaiatuba, SP: case studies. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 10117-10134, 2022.

TORQUATO, Shirley. (2013). *Casa nova, vida nova: Consumo, despesas e orçamento doméstico entre moradores do PAC do Morro do Preventório*. Tese de Doutorado em Antropologia, Universidade Federal Fluminense.

VELUX. **Túneis de Luz**. 2023. Disponível em: <https://www.velux.pt/produtos/tuneis-de-luz>. Acesso em: 24 abr. 2023

VITÓRIA. **Lei nº 4821 – Institui o Código de Edificações do Município de Vitória e Dá Outras Providências.** Palácio Jerônimo Monteiro, 1998. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-vitoria-es>. Acesso em: 24 abr. 2023

WAMS, Emma J; DPIL; WOELDERS, Tom; MARRING, Irene; ROSMALEN, Laura van; BEERSMA, Domien G M; GORDIJN, Marijke C M; HUT, Roelof A. **Linking Light Exposure and Subsequent Sleep: A Field Polysomnography Study in Humans.** *Sleep*, Volume 40, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx165>. Acesso em: 7 ago. 2022.

WILLIAMS, Dudley Anthony; DORVILLE, J. F. Investigating the Thermal and Lighting Performance of Light Pipes for Sunny and Cloudy Conditions in Insular Tropical Climate. **Journal of Electrical Engineering**, v. 2, p. 221-227, 2014.

WIRZ-JUSTICE, Anna; SKENE, Debra J.; MÜNCH, Mirjam. **The relevance of daylight for humans.** *Biochemical pharmacology*, v. 191, p. 114304, 2021.

WU, Yanpeng; YUE, Zhiyou. Experimental investigation on light-thermal effects of solar light pipes used in USTB gymnasium under sunny conditions in Beijing. In: **2009 International Conference on Energy and Environment Technology**. IEEE, 2009. p. 147-150.

Apêndice 1 – Artigo publicado em anais  
ENCAC/ELACAC 2023

Apêndice 2 - Artigo publicado em anais  
do 2º Congresso internacional de  
Sustentabilidade Urbana 2022

## **APÊNDICES**



XVII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
XIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO  
SÃO PAULO - SP

## ANÁLISE DA PERFORMANCE LUMÍNICA DE TUBOS DE LUZ NATURAL EM AMBIENTE DE COZINHA

**Gabriel de Sousa Santos (1); Andréa Coelho Laranja (2)**

(1) Arquiteto Urbanista, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo PPGAU, gabriel.santos.95@edu.ufes.br, Universidade Federal de Espírito Santo

(2) Doutora., Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, andrea.laranja@ufes.br, Universidade Federal de Espírito Santo

### RESUMO

Os tubos de luz natural proporcionam impactos positivos no ambiente interno com a melhora da performance lumínica. Estes podem vir a ser incorporados em conjuntos habitacionais como forma de suprir as necessidades de iluminação de ambientes de cozinha, os quais possuem grande demanda por iluminação. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi analisar a performance lumínica de tubos de luz natural em ambiente de cozinha, em Vitória – ES. Para isto, a metodologia dividiu-se em três etapas: definição de modelos de referência para tubo de luz natural e ambiente de cozinha; definição de dez modelos de tubos de luz natural aplicados a um modelo de cozinha; definição dos parâmetros para as simulações e das métricas ALNe e IULN. As simulações foram realizadas no software Troplux 8, no qual os modelos dividiram-se em três grupos de análise: Grupo 01 (sistema com tubo de 1,2m de comprimento, sem joelho e inclinações de 37°, 69° e 103°), Grupo 02 (sistema com tubo de 1,2m de comprimento, com joelho e inclinações de 37°, 69° e 103°) e Grupo 03 (sistema com tubo de 1,65m de comprimento, com joelho e inclinações de 0°, 39°, 69° e 101°). Os resultados demonstraram que a inclinação dos tubos de luz natural, exerceu maior influência na variação da iluminação no ambiente interno, do que o comprimento do tubo e a adição de joelhos, no qual modelos de menor inclinação (0°, 37° e 39°) obtiveram os piores resultados. Por outro lado, o aumento de 27,28% no comprimento do tubo causou um inexpressivo decaimento da iluminação natural. Constatou-se também que a adição de joelho, em tubos de luz natural de mesma inclinação, contribuiu com até 20% de melhora na performance lumínica do ambiente interno.

Palavras-chave: tubos de luz natural, cozinha, simulação computacional.

### ABSTRACT

Natural light pipes provide positive impacts on the indoor environment with improved lighting performance. These may be incorporated into housing developments as a way to meet the lighting needs of kitchen environments, which have a high demand for lighting. In this way, the objective of this research was to analyze the luminous performance of natural light pipes in a kitchen environment, in Vitória - ES. For this, the methodology was divided into three stages: definition of reference models for natural light pipes and kitchen environment; definition of ten models of natural light pipes applied to a kitchen model; definition of parameters for simulations and ALNe and IULN metrics. The simulations were carried out in the Troplux 8 software, in which the models were divided into three analysis groups: Group 01 (system with a 1.2 m long pipe, without elbow and inclinations of 37°, 69° and 103°), Group 02 (system with a 1.2m long pipe, with elbow and inclinations of 37°, 69° and 103°) and Group 03 (system with a 1.65m long pipe, with elbow and inclinations of 0°, 39°, 69° and 101°). The results showed that the inclination of the natural light pipes exerted a greater influence on the variation of lighting in the indoor environment than the length of the pipe and the addition of elbows, in which models with a lower inclination (0°, 37° and 39°) had the worst results. On the other hand, the 27.28% increase in the length of the pipe caused an insignificant decline in natural lighting. It was also found that the addition of a elbow, in natural light pipes of the same inclination, contributed with up to 20% improvement in the luminous performance of the internal environment.

Keywords: natural light pipes, kitchen, computer simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os tubos de luz natural são dispositivos de captação e condução da luz solar por pequenas ou grandes distâncias e são utilizados na construção civil com vistas a uma melhor eficiência energética. Geralmente instalados em ambientes que recebem pouca ou nenhuma luz natural, estes dispositivos podem provocar impactos positivos tanto econômicos, quanto para a saúde e bem-estar dos usuários (MALET-DAMOURE et al., 2022; MALET-DAMOURE et al., 2020).

Quanto aos impactos econômicos, estudos demonstram que os tubos de luz natural aliam um menor ganho de calor com uma boa capacidade de disponibilizar iluminação natural para os ambientes internos, diminuindo assim os custos demandados por carga de resfriamento, assim como por iluminação artificial (PLESHKOV et al., 2020; HENG et al., 2020; SERN et al., 2022; MALET-DAMOURE et al., 2022).

A respeito dos benefícios para a saúde e bem-estar dos usuários, pesquisas confirmam que estes dispositivos não alteram o espectro da luz visível, permitindo ainda a percepção da variação climática externa trazendo benefícios psicofisiológicos ligados aos sistemas circadiano e cognitivo (WIRZ-JUSTICE, et al., 2021; KNOOP, et al., 2020; MÜNCH, et al., 2020; MALET-DAMOURE et al., 2022).

Porém, mesmo sabendo que o desempenho lumínico dos ambientes internos é um dos requisitos para a habitabilidade e que a norma NBR 15575-1 recomenda o adequado aproveitamento da luz natural para edificações habitacionais (ABNT, 2013), constatam-se exemplos de habitações de interesse social com baixa performance lumínica. Isto pode ser observado nas pesquisas de Bortoli et al. (2020) nas quais usuários de conjuntos habitacionais defrontados com residências que não atendem suas necessidades, utilizam-se da prática da autoconstrução. Os autores acrescentam que, uma das motivações para a autoconstrução relatada pelos usuários é o “desconforto ambiental” decorrente dentre outros, da inadequada iluminação natural do ambiente.

Neste sentido, o incremento de tubos de luz natural em ambientes de grande demanda por iluminação como as cozinhas, pode contribuir com a resiliência de habitações de interesse social, por garantir luz de forma satisfatória.

## 2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é analisar a performance lumínica de tubos de luz natural em ambiente de cozinha, em Vitória – ES.

## 3. MÉTODO

A metodologia está dividida em três etapas: definição de modelos de referência para cozinha e tubo de luz natural; definição de 10 modelos simplificados de tubos de luz natural, divididos em três grupos com variações de comprimento do condutor, ausência ou presença de Joelho e ângulo de inclinação do condutor, inseridos em um único modelo de cozinha; definição dos parâmetros e das métricas ALNe (Autonomia de Luz Natural Espacial) e IULN (Iluminância Útil de Luz Natural) para simulações computacionais, no software Troplux 8 (CABUS et al., 2020).

### 3.1. Modelos de referência

Na primeira etapa, foram definidos modelos de referência de cozinha e tubo de luz natural. A cozinha foi definida a partir de medidas mínimas indicadas nos códigos de obras das capitais da Região Sudeste do Brasil e na NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Em seguida, foi verificada a equivalência entre estas dimensões levantadas, com as dimensões recorrentes de cozinha em projeto de habitação de interesse social unifamiliar no estado do Espírito Santo. Quanto ao modelo de tubo de luz natural, este foi definido com base nas características comuns deste sistema, disponibilizado no mercado para ambientes residenciais.

#### 3.1.2 Modelo de cozinha

A partir dos códigos de obras das capitais da Região Sudeste, foram observados o pé direito e a menor dimensão possível de ser adotada para o modelo de cozinha, Tabela 1. No que diz respeito a NBR 15575 – 1 (ABNT, 2013), a mesma recomenda que o mobiliário mínimo de uma cozinha seja constituído por: fogão, geladeira, pia de cozinha, armário sobre a pia, gabinete, apoio para refeições (2 pessoas). Para tanto, o mesmo documento indica dimensões mínimas necessárias à distribuição do mobiliário e circulação, descritos no Tabela 2. No que se refere às dimensões recorrentes de cozinha adotadas em projeto de habitação de interesse social no estado do Espírito Santo, verificou-se o emprego de cozinha de formato retangular, com largura e comprimento de respectivamente 2m e 2,8m, com estrutura do telhado inclinado aparente sem forro, Figura 1.

Tabela 1 - Dimensões mínimas para Códigos de Obras das capitais da Região Sudeste do Brasil.

DIMENSÕES MÍNIMAS DE COZINHAS					
Capital	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensão (m)	Pé direito (m)	Outro	Fonte
Vitória	-	-	2,30	Possibilitar a inscrição de círculo com diâmetro de 1,50 m	VITÓRIA, 1998
São Paulo	-	-	2,50	Possibilitar a inscrição de círculo com diâmetro de 1,50 m	SÃO PAULO, 2017
Belo Horizonte	-	-	2,60	-	BELO HORIZONTE, 2009
Rio de Janeiro	-	-	-	-	RIO DE JANEIRO, 2019

Tabela 2 – Dimensões mínimas de cozinha segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

DIMENSÕES MÍNIMAS DE COZINHAS			
Item	Largura (m)	Profundidade (m)	Observações
Pia	1,20	0,50	Largura mínima da cozinha, de forma que comporte as dimensões sugeridas para mobiliário e circulação: 1,50 m
Fogão	0,55	0,60	-
Geladeira	0,70	0,70	-
Circulação	0,85	-	-
Armário sobre a pia e gabinete	-	-	Espaço obrigatório para móvel
Apoio para refeição (2 pessoas)	-	-	Espaço opcional para móvel

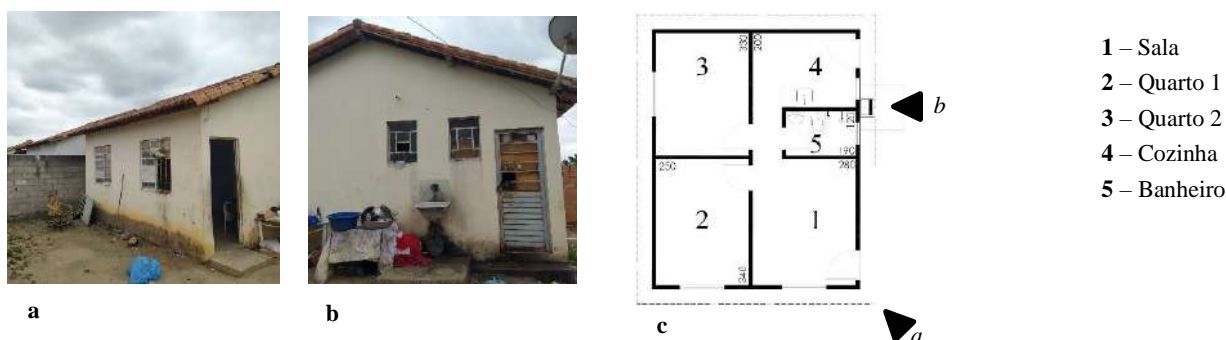


Figura 1 – Vista externa “a” e “b” e planta baixa de habitação de interesse social adotada no Espírito Santo, com destaque para o ambiente de cozinha.

Desta forma, partindo-se da premissa que o modelo de cozinha deve permitir a organização do mobiliário mínimo descrito pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), mantendo uma circulação mínima de 0,85m, levando em consideração as dimensões mínimas indicadas pelos códigos de obras analisados e as medidas empregadas em habitação de interesse social no Espírito Santo, foram adotadas para a cozinha as seguintes dimensões, comprimento e largura de respectivamente 3m e 2m, pé direito de 2,3m e área de 6m<sup>2</sup>, Figura 2.



Figura 2 – Planta baixa ambientada de cozinha, com mobiliário mínimo e dimensões adotadas.

### 3.1.2 Modelo de tubo de luz natural

A disponibilidade de luz natural em ambientes que fazem uso de tubos de luz natural é impactada pelos seus componentes principais (Figura 3), sendo eles o coletor (I), que capta a luz solar para o tubo de forma passiva ou ativa; o tubo (II), que conduz a luz solar por reflexões; o difusor (III), que por sua vez difunde a luz no ambiente interno (MALET-DAMOUR et al., 2019; MALET-DAMOUR et al., 2020). Desta forma, tomando por referência os diâmetros dos tubos disponibilizados no mercado, bem como as características do coletor e difusor, Tabela 3, foi definido o modelo de referência com seção quadrada com as seguintes características: lado de 0,20m; coletor e difusor com vidro incolor plano de 4mm; refletância especular interna do tubo de 0.98. A área de seção quadrada aproxima-se da área da seção circular de 0,23m, correspondente a uma medida mínima e formato usual dentre as empresas.

Tabela 3 – Características de tubos de luz natural disponibilizados no mercado.

TUBOS DE LUZ NATURAL					
Empresa	Coletor	Tubo		Difusor	Fonte
		Diâmetro	Refletância espec.		
Monodraught	Vidro duplo ou cúpula acrílica	0,23m;	0,98	Vidro opaco ou policarbonato	MONODRAUGHT, 2023
Solatube	Cúpula acrílica	0,25m;	0,997	-	SOLATUBE, 2023
VELUX	Vidro temperado 4mm ou cúpula acrílica	0,35m;	0,99	Policarbonato	VELUX, 2023
Lightway	Cristal	0,152;	0,998	Vidro	LIGHTWAY, 2023
Solarspot	-	0,25m;	0,997	-	SOLARSPOT, 2023

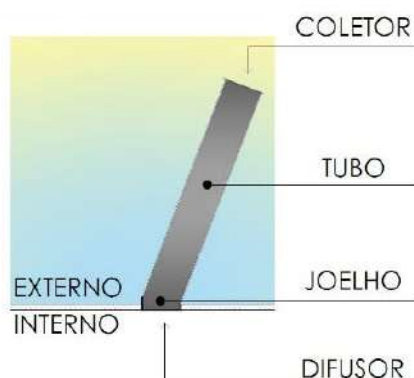


Figura 3 – Modelo simplificado de Tubo de luz natural

### 3.3. Modelos para Simulações

Nas simulações para o modelo de cozinha adotado, não foram consideradas as contribuições lumínicas das aberturas laterais. Os tubos de luz natural foram posicionados ao centro do ambiente. Com vistas a avaliar a influência da performance do tubo de luz natural em função da variação de inclinação, a presença ou ausência de joelho e o comprimento do tubo, os modelos foram separados em grupos: O Grupo 01 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,2m, inclinações de 37°, 69° e 103°, sem joelho; O Grupo 02 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,2m, inclinações de 37°, 69° e 103°, com joelho; O Grupo 03 reúne modelos que possuem tubo com comprimento de 1,65m, inclinações de 0°, 39°, 69° e 101°, com joelho.

Levando em consideração a “trajetória solar aparente” para a cidade de Vitória – ES, as inclinações propostas para os tubos de luz natural consideraram a maior altura solar, às 12h, nos solstícios de inverno e verão bem como nos equinócios de primavera e outono, sendo que para os equinócios, foram adotadas inclinações que impeçam a incidência de radiação direta no difusor. Quanto aos joelhos, estes foram modelados com área interna de aproximadamente 0.10m<sup>2</sup>. Por fim, a variação do comprimento foi em função da construção de modelo de tubo de luz natural em posição horizontal, de forma que o coletor estivesse para além de um beiral de 0,40m (medida usual de beiral em habitações de interesse social). A seguir, a Tabela 4 apresenta os modelos em seus devidos grupos.

Tabela 4 – Modelos de tubos de luz em seus respectivos grupos.

<b>GRUPO 01</b>		
Grupo com três modelos de tubos de luz natural sem joelho.		
<b>M1 – 1.2 – 37° - SJ</b>	<b>M2 – 1.2 – 69° - SJ</b>	<b>M3 – 1.2 – 103° - SJ</b>
<b>GRUPO 02</b>		
Grupo com três modelos de tubos de luz natural com acréscimo de joelho.		
<b>M4 – 1.2 – 37° - J</b>	<b>M5 – 1.2 – 69° - J</b>	<b>M6 – 1.2 – 103° - J</b>
<b>GRUPO 03</b>		
Grupo com quatro modelos de tubos de luz natural com joelho e aumento do comprimento do tubo.		
<b>M7 – 1.65 – 0° - J</b>		<b>M8 – 1.65 – 39° - J</b>
<b>M9 – 1.65 – 69° - J</b>		<b>M10 – 1.65 – 101° - J</b>

### 3.2. Parâmetros e Métricas

As simulações foram processadas a partir de dez modelos estruturados no software TropLux 8 (CABÚS et al., 2020), sob céu com distribuição dinâmica da capital Vitória - ES, latitude 20°19'10"S, clima tropical úmido, por possuir características climáticas semelhantes às cidades de implantação das unidades residenciais do Programa de Habitação do Governo do Estado do Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2016).

As simulações ocorreram para o intervalo do dia compreendido entre 7h30 e 17h30, em todos os dias do ano. A orientação do coletor do tubo de luz natural foi proposta para Norte, visto ser esta a orientação na qual ocorre maior acesso da radiação solar direta na parte coletora do sistema. Foi proposta uma malha ortogonal composta por 20 pontos de medição da iluminância (Figura 4), prevista pela IES LM-83-12 (ILLUMINATING..., 2012), com altura do plano de medição à 0,75m do piso. Quanto às refletâncias das

superfícies internas, foram adotados valores máximos indicados pela NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores máximos de Refletância segundo a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013).

Superfície	Refletância
Piso	0,5
Parede	0,8
Teto	0,9

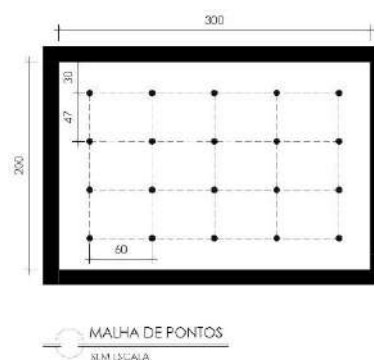


Figura 4 – Malha ortogonal de 20 pontos para medição da iluminância.

As métricas utilizadas foram ALNe, desenvolvido pela Illuminating Engineering Society of North America (2012) e a IULN, proposta por Nabil e Mardaljevic (2005). Para o ALNe, admitiram-se os valores mínimo de 60lx, intermediário de 90lx e superior de 120lx, indicados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Para a IULN, admitiram-se os intervalos:  $E < 100$  (iluminância insuficiente);  $100 < E < 300$  (iluminância suficiente com necessidade de iluminação complementar);  $300 < E < 3000$  (iluminância suficiente);  $E > 3000$  (iluminância excessiva);  $100lx \leq E \leq 3000lx$  (intervalo útil).

Os resultados das simulações permitiram análises comparativas, a partir dos percentuais de ALNe e IULN, entre os dez modelos propostos, divididos em três grupos, com vistas a identificar os modelos que apresentaram os melhores desempenhos. A análise da ALNe permitiu investigar o percentual de área em que os níveis mínimo, intermediário, ou superior de iluminância, segundo NBR 15575-1 (ABNT, 2013), é atingido em mais de 50% das horas/ano. Por outro lado, a IULN permitiu analisar o percentual anual de instantes em que a iluminância atinge os intervalos:  $E < 100$ ;  $100 < E < 300$ ;  $300 < E < 3000$ ;  $E > 3000$ . Também foi possível analisar o percentual mensal em que a IULN atinge a intervalo útil de  $100lx \leq E \leq 3000lx$ .

#### 4. RESULTADOS

Seguem os resultados das simulações para as métricas ALNe, tendo por referência os valores de 60lx, 90lx e 120lx indicados pela NBR 15575 (ABNT, 2013), bem como os intervalos de iluminância da IULN, os quais demonstraram a performance anual de dez modelos de tubos de luz natural, divididos em 3 grupos de análise conforme similaridade.

A Tabela 6 apresenta percentuais de ALNe, tendo por referência o valor limite de 60lx. Para todos os modelos é possível observar intervalos de horas, no início da manhã e final da tarde, com performance insuficiente, acarretando grande demanda de iluminação artificial para a realização das atividades. Isto provavelmente é decorrente do fato de que nestes horários a altura solar é pequena, dificultando o acesso da parcela da radiação solar direta no tubo. Por outro lado, a performance dos modelos melhora nos demais horários de maior altura solar, no qual apenas para modelo “M1 – 1.2 – 37° – SJ”, observa-se uma performance insuficiente em alguns horários do dia (8h30; 14h30; 15h30). Isso provavelmente é decorrente de que este modelo não dispõe de joelho, já que é observada uma melhora de performance nos modelos aos quais foram adicionados este elemento em função das novas reflexões na porção condutora do tubo. Assim, é possível constatar que o uso do tubo de luz natural garante cerca de 5 a 8 horas do dia com 100% da área de trabalho provida de iluminância mínima de 60lx.

Tabela 6 – Percentuais de ALNe sob nível mínimo de 60lx.

MODELO / HORA	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
M1 – 1.2 – 37° - SJ	0%	65%	100%	100%	100%	100%	100%	85%	60%	0%	0%	
M2 – 1.2 – 69° - SJ	5%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	5%	0%	
M3 – 1.2 – 103° - SJ	10%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	95%	10%	0%	
M4 – 1.2 – 37° - J	5%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	
M5 – 1.2 – 69° - J	10%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	10%	0%	
M6 – 1.2 – 103° - J	10%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	10%	0%	
M7 – 1.65 – 0° - J	0%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90%	0%	0%	
M8 – 1.65 – 39° - J	0%	95%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	5%	0%	
M9 – 1.65 – 69° - J	10%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	10%	0%	
M10 – 1.65 – 101° - J	10%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	10%	0%	
ESCALA	100%	95%	80%	75%	60%	55%	40%	35%	20%	15%	5%	0%

As Tabelas 7 e 8 apresentam percentuais de ALNe, tendo por referência os valores limites intermediário e superior, respectivamente 90lux e 120lux. Como já era esperado, há uma redução da quantidade de horas que conseguem garantir 100% da área de trabalho para valores de 90lux e 120lux. É possível verificar que os modelos de menor inclinação “M1 – 1.2 – 37° - SJ” e “M7 – 1.65 – 0° - J” (horizontal) apresentam a pior performance em todos os horários simulados. Quando analisados os modelos pertencentes aos grupos (G1, G2 e G3), pode-se observar que os modelos do grupo G2 (com joelho – 1.2m) e G3 (com joelho – 1.65m) obtiveram melhores resultados, com melhoras de performance em até 60%, se comparados ao grupo G1 (sem joelho – 1.2m). Esta melhora da performance, provavelmente decorre da mudança de direção da luz refletida por meio do joelho, permitindo a incidência da luz de forma mais ampla no plano de trabalho. Quanto à diferença de comprimento, tubos mais compridos (G3) apresentaram um decaimento pouco expressivo (5%), o que provavelmente é decorrente do aumento de reflexões da luz na parte interna do tubo (porção condutora). Quanto à variação da inclinação, esta mostrou-se mais determinante para a performance dos modelos, nos quais modelos com menor inclinação (0°, 37° e 39°) apresentaram os piores resultados, com ocorrências de até 80% de decaimento da área suprida por iluminância de 90lx e 120lx. Isto se confirma com as piores performances obtidas pelos modelos “M1 – 1.2 – 37° - SJ” e “M7 – 1.65 – 0° - J”. Desta forma, sendo a inclinação o fator mais preponderante para uma melhor performance do tubo, esta deve ser definida a partir da compreensão das trajetórias solares.

Tabela 7 – Percentuais de ALNe sob nível intermediário de 90lx.

MODELO / HORA		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
M1 – 1.2 – 37° - SJ		0%	0%	55%	70%	70%	85%	65%	55%	0%	0%	0%	
M2 – 1.2 – 69° - SJ		0%	50%	95%	100%	100%	100%	100%	100%	60%	0%	0%	
M3 – 1.2 – 103° - SJ		0%	35%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	40%	0%	0%	
M4 – 1.2 – 37° - J		0%	60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	55%	0%	0%	
M5 – 1.2 – 69° - J		0%	85%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90%	0%	0%	
M6 – 1.2 – 103° - J		0%	65%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	70%	0%	0%	
M7 – 1.65 – 0° - J		0%	5%	60%	90%	90%	90%	95%	65%	0%	0%	0%	
M8 – 1.65 – 39° - J		0%	50%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	65%	0%	0%	
M9 – 1.65 – 69° - J		0%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	65%	0%	0%	
M10 – 1.65 – 101° - J		0%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	60%	0%	0%	
ESCALA		100%	95%	80%	75%	60%	55%	40%	35%	20%	15%	5%	0%

Tabela 8 – Percentuais de ALNe sob nível superior de 120lx.

MODELO / HORA		07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	
M1 – 1.2 – 37° - SJ		0%	0%	5%	40%	50%	45%	35%	5%	0%	0%	0%	
M2 – 1.2 – 69° - SJ		0%	5%	80%	95%	100%	95%	85%	70%	10%	0%	0%	
M3 – 1.2 – 103° - SJ		0%	0%	65%	85%	95%	95%	80%	75%	5%	0%	0%	
M4 – 1.2 – 37° - J		0%	0%	60%	90%	95%	95%	80%	65%	0%	0%	0%	
M5 – 1.2 – 69° - J		0%	25%	90%	95%	100%	100%	100%	90%	20%	0%	0%	
M6 – 1.2 – 103° - J		0%	15%	90%	100%	100%	100%	95%	80%	10%	0%	0%	
M7 – 1.65 – 0° - J		0%	0%	10%	25%	60%	55%	35%	10%	0%	0%	0%	
M8 – 1.65 – 39° - J		0%	0%	55%	85%	85%	95%	80%	65%	0%	0%	0%	
M9 – 1.65 – 69° - J		0%	20%	85%	90%	95%	95%	85%	85%	15%	0%	0%	
M10 – 1.65 – 101° - J		0%	5%	85%	95%	100%	100%	100%	75%	10%	0%	0%	
ESCALA		100%	95%	80%	75%	60%	55%	40%	35%	20%	15%	5%	0%

A Figura 5 apresenta percentuais anuais para os intervalos de IULN. É possível observar que percentuais para o intervalo excessivo são insignificantes, isso provavelmente em função da geometria do tubo, que por possuir uma parcela condutora alongada, dificulta a incidência de radiação solar direta. Os modelos com menor inclinação (0°, 37° e 39°) apresentam os piores resultados, visto que o intervalo insuficiente ( $E < 100$ ) chega a quase 75%, dos quais a pior performance é observada no modelo “M1 – 1.20 – 37° - SJ”. Por outro lado, os modelos com maior inclinação (69°, 101° e 103°), sobretudo os que possuem joelho, apresentam as melhores performances com aumento de até 15% no intervalo ( $100 < E < 300$ ) e de até 5% no intervalo ( $300 < E < 3000$ ). Dessa forma, é possível concluir que a adoção de tubos de iluminação natural com maiores inclinações (69°, 101° e 103°), associadas a joelhos, melhoram a performance lumínica do ambiente interno demandando menor quantidade de iluminação artificial.

As Figuras 6, 7 e 8, apresentam resultados mensais de IULN, faixa útil  $100lx \leq E \leq 3000lx$ . De uma forma geral, os modelos de maior inclinação obtiveram melhor performance ao longo do ano, dos quais os modelos do Grupo 2 apresentam os melhores resultados. No entanto, nos meses de menor altura solar é possível observar que estes mesmos modelos tiveram um decaimento em torno de 30%, provavelmente decorrente da menor incidência de radiação solar direta no tubo. Por outro lado, os modelos de menor inclinação possuem a

pior performance ao longo do ano, dos quais o modelo com pior resultado é o “M1 – 1.2 – 37° - SJ” (Grupo 1), juntamente com o modelo “M7 – 1.65 – 0° - J” (Grupo 3) o qual apresenta decaimento bastante expressivo nos meses de maior altura solar, provavelmente decorrente de uma menor incidência de radiação solar direta no coletor do tubo, visto que este está orientado para Norte.

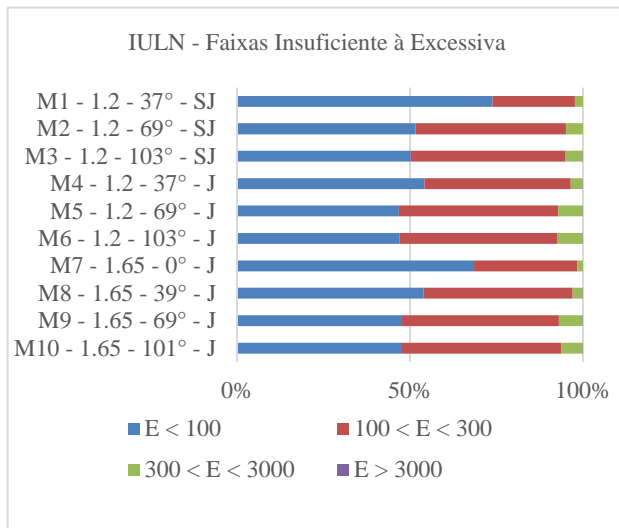


Figura 5 – Percentuais anuais de IULN para as faixas insuficiente, suficiente com necessidade de iluminação complementar, suficiente e excessiva.

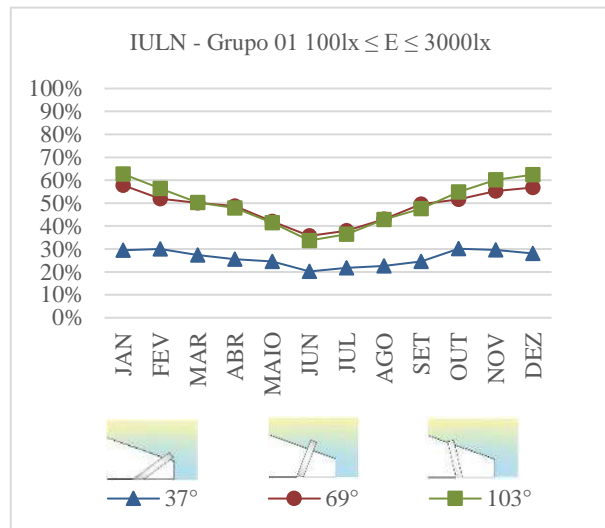


Figura 6 – Percentuais mensais de IULN, faixa útil 100lx ≤ E ≤ 3000lx, para três modelos do Grupo 01.

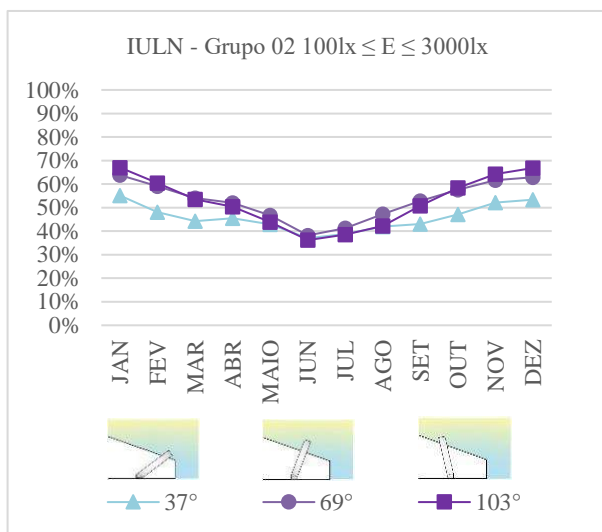


Figura 7 – Percentuais mensais de IULN, faixa útil 100lx ≤ E ≤ 3000lx, para três modelos do Grupo 02.

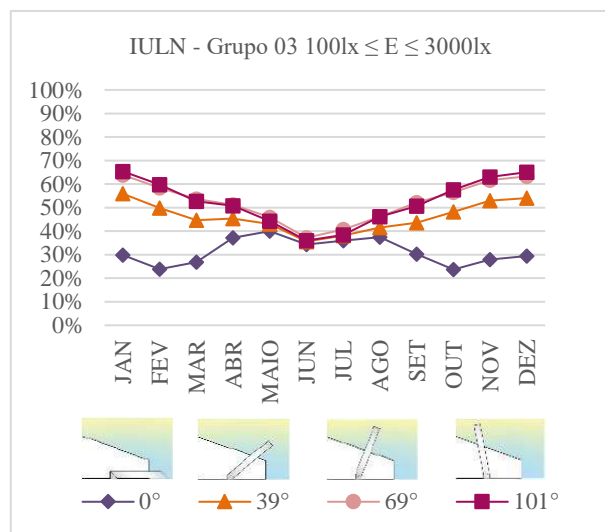


Figura 8 – Percentuais mensais de IULN, faixa útil 100lx ≤ E ≤ 3000lx, para quatro modelos do Grupo 03.

## 5. CONCLUSÕES

O propósito deste artigo consistiu em analisar a performance lumínica de tubo de luz natural em ambiente de cozinha sob o céu dinâmico de Vitória - ES. As simulações computacionais foram realizadas para dez modelos agrupados em três grupos de análise Grupo 1 (comprimento de 1.2m, sem joelho, inclinações de 37°, 69° e 103°), Grupo 2 (comprimento de 1.2m, com joelho, inclinações de 37°, 69° e 103°) e Grupo 3 (comprimento de 1.65m, com joelho, 0°, 39°, 69° e 101°).

Nas análises do índice ALNe, para os valores limite de 60lx, 90lx e 120lx, percentuais insuficientes foram encontrados em todos os modelos, em horários de menor altura solar, no início da manhã e final da tarde. Este fato acarreta grande demanda de iluminação artificial para a realização das atividades nestes períodos. Os tubos de luz natural permitem atender o limite mínimo de 60lx, conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), em 100% da área de trabalho durante 5 a 8 horas do dia, entretanto, para os limites de 90lx e 120lx, este intervalo é reduzido para 0 a 6 horas. Os Modelos de pior performance que possuem as menores inclinações, são: “M1 – 1.2 – 37° - SJ”, “M4 – 1.2 – 37° - J”, “M7 – 1.65 – 0° - J” e “M8 – 1.65 – 39° - J”. Isto provavelmente

decorre de baixas inclinações que dificultam a entrada da radiação direta na porção condutora do tubo em horários de maior altura solar. Quanto às variações de comprimento e presença de joelho, o aumento do comprimento implica em uma redução de performance insignificante, enquanto que a adição do joelho provoca uma melhora de performance em até 60%. Por fim, o modelo de melhor performance para o índice ALNe, foi o “M5 – 1.2 – 69° - J”, o mesmo possui joelho, comprimento menor e sua inclinação tem por referência a altura solar no horário de 12h00 durante os equinócios de primavera e outono.

Quanto às análises de IULN, nenhum dos modelos apresentam instantes no intervalo de iluminância excessiva, isso demonstra menor possibilidade de contrastes lumínicos dentro do ambiente de cozinha. Para esta métrica também foi possível observar que os modelos de menor inclinação apresentaram os piores resultados, como também uma melhora de performance a partir da adição de joelhos e decaimento pouco expressivo com o aumento do comprimento do tubo.

A partir dos resultados encontrados, é possível concluir que os tubos de iluminação natural podem ser utilizados de forma a complementar os níveis de iluminância do ambiente interno.

Conclui-se desta forma, que quatro quesitos devem ser observados na concepção do tubo, a sua orientação associada à inclinação, a configuração da entrada do tubo, o comprimento da porção condutora da luz e a adoção de joelhos.

Destaca-se que a metodologia aplicada a esta pesquisa foi voltada para um ambiente específico na cidade de Vitória, considerando as orientações para o coletor do tubo de iluminação natural em função da Geometria Solar de Vitória, devendo desta forma ser adaptado às características de outras localidades quando se fizerem novas investigações.

Como estudos futuros, pretende-se investigar a performance do tubo de luz a partir da variação de sua orientação associada à inclinação, a configuração da entrada do tubo, o comprimento da porção condutora e a adoção de joelhos, bem como a inserção de dispositivos refletores para direcionamento da radiação solar, para uma melhor performance do tubo de iluminação natural.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15715-1: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. ABNT, Rio de Janeiro, 2013.
- BELO HORIZONTE. Lei nº9725 - **Institui o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte e dá Outras Providências**. Poder executivo, 2009. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-belo-horizonte-mg>. Acesso em: 24 abr. 2023
- BORTOLI, K. C. R. de; VILLA, S. B. **Adequação ambiental como atributo facilitador da resiliência no ambiente construído em Habitações de Interesse Social**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 391-422, jan./mar. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000100381>. Acesso em: ago. 2022.
- CABÚS, Ricardo C.; RIBEIRO, Pedro V. S.; BASTOS, Orestes M. K.; SILVA, Luís F. **TropLux 8**. Titulares: Universidade Federal de Alagoas, Instituto Lumeeiro. BR512020002087-9. Criação: 10 set. 2019. Registro: 06 out. 2020.
- ESPÍRITO SANTO. **Unidades Habitacionais Construídas no Espírito Santo de 2003 a 2009**. Instituto Jones dos Santos Neves, 2016. Disponível em: <https://sedurb.es.gov.br/Media/Sedurb/PDF/CARTILHA%20IJSN-IDURB-1.pdf> Acesso em: 24 abr. 2023
- HENG, C. Y. S.; LIM, Yaik-Wah; OSSEN, Dilshan Remaz. **Horizontal light pipe transporter for deep plan high-rise office daylighting in tropical climate**. Building and Environment, v. 171, p. 106645, 2020.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **LM-83-12: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York, 2012.
- KNOOP, Martine et al. **Daylight: what makes the difference?**. Lighting Research & Technology, v. 52, n. 3, p. 423-442, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1477153519869758>. Acesso em: 7 ago. 2022.
- LIGHTWAY. **Sun Tunnels**. 2023. Disponível em: <https://www.lightway.cz/english/>. Acesso em: 24 abr. 2023
- MALET-DAMOUR, Bruno; BIGOT, Dimitri; BOYER, Harry. **Technological review of tubular daylight guide system from 1982 to 2020**. European Journal of Engineering and Technology Research, v. 5, n. 3, p. 375-386, 2020.
- MALET-DAMOUR, Bruno; FAKRA, Damien Ali Hamada. **Thermal and spectral impact of building integrated Mirrored Light Pipe to human circadian rhythms and thermal environment**. International Journal of Sustainable Energy, v. 41, n. 5, p. 492-513, 2022.
- MONODRAUGHT. **Natural Lighting: Sunpipe**. 2023. Disponível em: <https://www.monodraught.com/>. Acesso em: 24 abr. 2023
- MÜNCH, Mirjam et al. **The role of daylight for humans: gaps in current knowledge**. Clocks & sleep, v. 2, n. 1, p. 61-85, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2624-5175/2/1/8>. Acesso em: 7 ago. 2022.
- NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. **Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings**. Lighting Research & Technology, v. 37, n. 1, p. 41-57, 2005.
- PLESHKOV, Sergei et al. **Solving air conditioning problems in a design project using energy-efficient daylighting systems based on hollow tubular light guides**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. p. 052030.
- RIO DE JANEIRO. **Lei complementar nº 198 – Institui o Código de Obras e Edificações Simplificado do Município do Rio de**

- Janeiro** – COES. Câmara Municipal, Poder Executivo, 2019. Disponível em: <https://lancamentos-rj.com/wp-content/uploads/2020/03/Novo-C%C3%B3digo-de-Obras-e-Edifica%C3%A7%C3%B5es-do-Rio.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2023
- SÃO PAULO. **Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento - SMUL. Código de obras e edificações: lei n° 16.642, de 9 de maio de 2017; decreto n° 57.776 de 7 de julho de 2017**; COE ilustrado. São Paulo: SMUL, 2017
- SERN, Christopher Heng Yii; LIOU, Louis Ting Kwang; FADZIL, Sharifah Fairuz Syed. **Daylighting Performance of Integrated Light Shelf with Horizontal Light Pipe System for Deep Plan High-Rise Office in Tropical Climate**. Journal of Daylighting, v. 9, n. 1, p. 83-96, 2022.
- SOLARSPOT. **Iluminação Natural**. 2023. Disponível em: <https://www.termipol.pt/comercializacao/iluminacao-natural-e-desenfumagem/solarspot-iluminacao-natural/>. Acesso em: 24 abr. 2023
- SOLATUBE. **Tubular Skylights**. 2023. Disponível em: <https://solatube.com/>. Acesso em: 24 abr. 2023
- VELUX. **Túneis de Luz**. 2023. Disponível em: <https://www.velux.pt/produtos/tuneis-de-luz>. Acesso em: 24 abr. 2023
- VITÓRIA. **Lei n° 4821 – Institui o Código de Edificações do Município de Vitória e Dá Outras Providências**. Palácio Jerônimo Monteiro, 1998. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-vitoria-es>. Acesso em: 24 abr. 2023
- WIRZ-JUSTICE, Anna; SKENE, Debra J.; MÜNCH, Mirjam. **The relevance of daylight for humans**. Biochemical pharmacology, v. 191, p. 114304, 2021.

30/05/2023, 22:59

<https://www.even3.com.br/participante/Impressao/Impressaocartadeaceite?code=634213>

O trabalho intitulado **ANÁLISE DA PERFORMANCE LUMÍNICA DE TUBOS DE LUZ NATURAL EM AMBIENTE DE COZINHA**, de autoria de **Gabriel de Sousa Santos** e **Andrea Coelho Laranja** foi aprovado na modalidade *Artigo*, para apresentação no evento **XVII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO /XIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO** a ser realizado de 30 de outubro a 1 de novembro de 2023.

São Paulo, SP - Brasil

A handwritten signature in black ink that reads "KelenDornelles".

Kelen Almeida Dornelles

Comissão Científica do ENCAC 2023

Data do Aceite: 23/05/2023

<https://www.even3.com.br/participante/Impressao/Impressaocartadeaceite?code=634213>

1/1

# Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas

## Impacts of Self-construction on the Availability of Daylight in Kitchens

**Gabriel de Sousa Santos**

Universidade Federal do Espírito Santo,  
Vitória, Brasil, [gabriel.santos.95@edu.ufes.br](mailto:gabriel.santos.95@edu.ufes.br)

**Andrea Coelho Laranja**

Universidade Federal do Espírito Santo,  
Vitória, Brasil, [andrea.laranja@ufes.br](mailto:andrea.laranja@ufes.br)

### RESUMO

*Este artigo tem como objetivo analisar a influência da autoconstrução na disponibilidade de iluminação natural em cozinhas de conjunto habitacional unifamiliar. A luz natural traz benefícios psicofisiológicos para o usuário e a autoconstrução interfere no ganho lumínico dos ambientes. A metodologia dividiu-se em visita a campo, definição de modelos computacionais e simulações no software TropLux 8. As simulações ocorreram a partir dos modelos M-1 (sem alterações), M-2 (com acréscimo de varanda) e M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo), com aberturas orientadas para Norte, Sul, Leste e Oeste, durante o ano, sob céu dinâmico (CDDL) de Vitória-ES. Foram verificados os índices de IULN (Iluminância Útil de Luz Natural), ALN (Autonomia de Luz Natural), mensurados através de malha ortogonal com 20 pontos de medição da iluminância. Nas conclusões, observam-se nos modelos que sofreram acréscimos, um decaimento da iluminância útil de até 80% para os percentuais enquadrados na faixa  $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ . Por outro lado, em M-1, verificam-se níveis expressivos de iluminância excessiva faixa  $E > 3000\text{lx}$ , o que sugere a inserção de proteções solares. Ademais, para os percentuais de ALN, o M-3 apresentou resultados de até 45% abaixo de  $\geq 60\text{lx}$ , mínimo indicado pela NBR 15575-1.*

**Palavras-chaves:** Iluminação Natural; Autoconstrução; Desempenho luminoso.

### ABSTRACT

*This article aims to analyze the influence of self-construction on the availability of daylighting in kitchens in a single-family housing project. Daylight brings psychophysiological benefits to the user and self-construction interferes with the luminous gain of environments. The methodology was divided into field visits, definition of computational models and simulations in TropLux 8 software. The simulations took place from the models M-1 (no changes), M-2 (with addition of balcony) and M-3 (with addition of balcony and room), with openings oriented to North, South, East and West, during the year, under dynamic sky of Vitória-ES. The indices of UDI (Useful Daylight Illuminance), DA (Daylight Autonomy) were verified, measured through an orthogonal grid with 20 points of illuminance measurement. In the conclusions, it is observed in the models that underwent additions, a decay of the useful illuminance of up to 80% for the percentages within the range  $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ . On the other hand, in M-1, there are significant levels of excessive illuminance in the  $E > 3000\text{lx}$  range, which suggests the insertion of solar protection. In addition, for DA percentages, the M-3 presented results of up to 45% below  $\geq 60\text{lx}$ , the minimum indicated by NBR 15575-1.*

**Keywords:** Daylighting; Self-construction; Luminous Performance

Como citar:

SANTOS, Gabriel de S.; LARANJA, Andrea C. Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2., 2022, Vitória. *Anais[...]*. Vitória: UFES, 2022. p. 295-304. ISBN: 978-989-53626-0-8

## 1. INTRODUÇÃO

A Pesquisa Datafolha divulgada em janeiro de 2022, contratada pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (2022), aponta que 50% da população brasileira ativa economicamente, realizou reforma ou construção. A pesquisa acrescenta ainda que desta parcela da população, apenas 9% contratou assistência técnica especializada, onde 49% dos pesquisados pontuaram o motivo financeiro como a principal causa para não contratar um profissional. Dados como estes conduzem a reflexões no que diz respeito à qualidade da moradia brasileira, como exemplo, prejuízos no ganho de iluminação natural para os ambientes internos. Isto é sobretudo observado em moradias de famílias em vulnerabilidade socioeconômica, que geralmente recorrem à autoconstrução, favorecendo a precariedade da habitação, fator que compõe o cálculo do déficit habitacional no Brasil, segundo Ministério do Desenvolvimento Regional (BRASIL, 2022).

Apesar de normas apontarem a necessidade do aproveitamento da luz natural, constata-se exemplos de habitações populares inadequadas (ARAUJO et al., 2020; ROHR et al., 2021). Observando-se o déficit habitacional no Brasil, dado pela somatória do déficit qualitativo com o quantitativo, há uma controversa falta de qualidade das moradias, fruto das políticas públicas habitacionais, como exemplo, as inadequações das dimensões (BRASIL, 2018). Nesse sentido, Bortoli et al. (2020) alertam que a autoconstrução em habitações de interesse social é uma iniciativa que busca por melhor qualidade de vida, entretanto, pode ter efeitos negativos quando não há assistência técnica. Os autores acrescentam que as medidas mínimas destas residências são inadequadas às necessidades do morador, questão esta que acaba incentivando suas modificações ao longo do tempo, e por utilizarem algumas vezes alvenaria autoportante, os projetos tornam-se pouco flexíveis (BORTOLI et al., 2020).

Assim também, ambientes internos precisam admitir a luz natural para a realização das atividades cotidianas e redução do gasto com energia elétrica proveniente da iluminação artificial. O contato com a luz natural se dá, boa parte das vezes, por aberturas laterais que precisam ser adequadamente projetadas para o melhor aproveitamento deste recurso, logrando também das inúmeras reflexões das superfícies externas ou da adequada disposição de dispositivos sombreadores (CAPELUTO, 2002). Acrescenta-se ainda a NBR 15575-1, que recomenda o aproveitamento da luz natural, alertando que o desempenho lumínico dos ambientes internos é um dos requisitos para habitabilidade (ABNT, 2013).

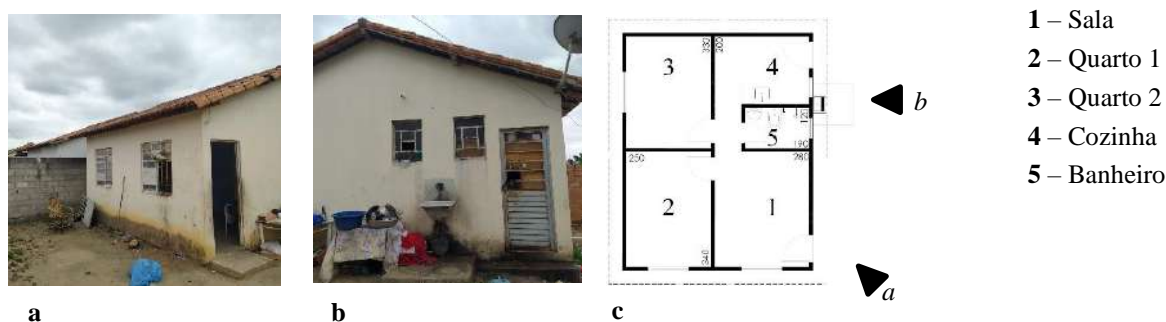
A iluminação natural é um relevante aspecto a ser considerado em projetos de Arquitetura e Urbanismo. Além da sua conhecida importância relacionada a eficiência energética, possibilidade de realização das tarefas e visão, vários estudos apontam benefícios psicofisiológicos para os usuários (WIRZ-JUSTICE, et al., 2021; KNOOP, et al., 2020; MÜNCH, et al., 2020). Como exemplo, alguns estímulos não visuais também são provocados pelo contato com a luz natural, como aqueles mediados por um conjunto de células fotossensíveis presentes na retina do olho, as ipRGCs (células ganglionares intrinsecamente fotossensíveis), que integram dentre outros sistemas, o circadiano ligado ao sono e estado de alerta, além daquele responsável pela cognição e motivação (WIRZ-JUSTICE et al., 2021). A interrupção do ciclo circadiano natural pode interferir nos ciclos biológicos (WAMS et al., 2017; MÜNCH, et al., 2020). Depner et al. (2019) acrescentam que alterações no ciclo circadiano podem provocar ainda o aumento do estresse e mudanças de hábitos que potencializam o aparecimento de doenças crônicas.

Neste sentido, com vistas ao melhor aproveitamento da iluminação natural para o ambiente interno, diversas variáveis devem ser observadas e tratadas de forma cuidadosa nos projetos arquitetônicos, bem como na autoconstrução. Tendo em vista as questões tratadas anteriormente, esta pesquisa tem por objetivo analisar a influência da autoconstrução na disponibilidade de iluminação natural em cozinhas de conjunto habitacional unifamiliar.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia estrutura-se da seguinte forma: (1) visita a campo; (2) definição dos modelos e simulações; (3) métricas e análise das simulações. A visita a campo possibilitou levantar informações sobre o objeto em estudo. Trata-se de ambiente de cozinha presente em 53 unidades, as quais compõem um conjunto habitacional unifamiliar. A cozinha localiza-se no fundo da residência em relação a fachada frontal, possuindo área útil de 5,6m<sup>2</sup>, sendo o seu comprimento, largura e pé-direito 2,8m, 2m e 2,6m, respectivamente, **Figura 1**. As esquadrias, balsa e porta, localadas na mesma face do ambiente, constituem-se de vidro e estrutura metálica (**Quadro 1**).

**Figura 1.** Foto frontal (a) e lateral (b) de habitação unifamiliar COHAB, indicadas em planta baixa (c).



Fonte: Autores, 2022.

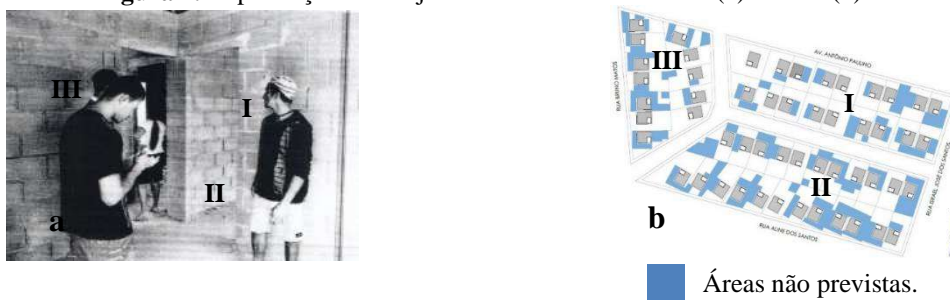
**Quadro 1.** Descrição das esquadrias da cozinha e WWR (*Window to Wall Ratio*).

<b>Porta</b>	0,80m x 2,10m (L x H)	0,80m <sup>2</sup> (área de vidro)	<b>WWR (porta e balsa)</b> 24,6%
<b>Balsa</b>	0,60m x 0,80m x 1,60m (L x H x P)	0,48m <sup>2</sup> (área de vidro)	

Fonte: Autores, 2022.

As unidades foram financiadas pela Companhia de Habitação e Urbanização do Estado do Espírito Santo (COHAB) e estão implantadas dentro do Loteamento Tutu Reuter, no município de Montanha, Espírito Santo, distribuídas em 3 quadras: (I) 18 unidades; (II) 23 unidades; (III) 12 unidades. Após a ocupação das residências em 2012, várias unidades sofreram algum tipo de modificação, com ou sem acréscimo de área construída. Tendo por base imagem de satélite do ano de 2022 e visita a campo, é possível observar na **Figura 2**: parte “a” - as quadras, os lotes e as unidades habitacionais em cinza, com identificação do posicionamento da cozinha, remetendo ao ano de 2012, data de entrega do empreendimento às famílias beneficiadas; parte “b” - as unidades habitacionais em cinza, com identificação do posicionamento da cozinha e em azul destacam-se as áreas não previstas no projeto COHAB, o que permite confirmar a possível prática da autoconstrução neste conjunto habitacional.

**Figura 2.** Implantação do conjunto habitacional COHAB (a) 2012 e (b) 2022.









Fonte: Autores, 2022.

Como citar:

SANTOS, Gabriel de S.; LARANJA, Andrea C. Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2., 2022, Vitória. **Anais[...]**. Vitória: UFES, 2022. p. 295-304. ISBN: 978-989-53626-0-8

Após a visita a campo, constatou-se que 85% das unidades habitacionais sofreram acréscimo de área construída. A partir da observação destes acréscimos, foram estabelecidos para simulação, um modelo sem alterações e dois modelos com intervenções contíguas à cozinha: M – 1 (sem alterações); M – 2 (com acréscimo de varanda); M - 3 (com acréscimo de varanda e cômodo) (**Quadro 2**).

**Quadro 2.** Modelos simulados: cozinha (em laranja) e os acréscimos (em azul).

 <p><b>M-1:</b> Sem alterações.</p>		<p>Representa a unidade habitacional quando entregue pela COHAB, admitindo-se melhoramentos na cozinha (em laranja) tais como: forro PVC branco, azulejo branco nas paredes e piso de cimento queimado.</p>
 <p><b>M-2:</b> Com acréscimo de varanda.</p>		<p>Soma-se ao modelo M-1 uma cobertura paralela às esquadrias da cozinha (em laranja), a partir da extensão do telhado até o limite do muro. Criam-se assim um espaço de garagem e área de serviço cobertos, com 3,30 m de largura, sem forro, com piso de cimento queimado e paredes brancas (em azul).</p>
 <p><b>M-3:</b> Com acréscimo de varanda e cômodo.</p>		<p>Soma-se ao modelo M-2 um cômodo perpendicular às esquadrias da cozinha (em laranja), com largura de 2,50 m, assim como avanço da cobertura da área de serviço até o alinhamento lateral com o novo cômodo, da mesma forma, sem forro, piso de cimento queimado e paredes brancas (em azul).</p>

**Fonte:** Autores, 2022.

Para as superfícies dos modelos foram adotadas refletâncias conforme a prática usual de acabamentos. Para isto, buscou-se uma maior aproximação dos valores de refletância com características similares aos materiais encontrados nos conjuntos habitacionais (**Quadro 3**).

**Quadro 3.** Refletâncias adotadas para superfícies dos modelos.

Valores de Refletância			
Ambiente	Superfície	Material	Valor (%)
Cozinha	Piso	Cimento queimado	40
Cozinha	Teto	PVC branco	85
Cozinha	Parede	Azulejo branco	70
Externo	Piso	Cimento queimado	40
Externo	Teto	Telha escura	20
Externo	Parede	Pintura branca	85

**Fonte:** Autores, 2022.

As simulações foram processadas a partir de três modelos estruturados no software TropLux 8 (CABÚS et al., 2020), para o intervalo do dia compreendido entre 7:30 e 17:30 horas, em todos os dias do ano, sob céu com distribuição dinâmica (CDDL) da capital Vitória, por possuir características climáticas semelhantes à cidade de Montanha-ES, local de implantação das unidades residenciais em estudo. Foram simuladas as orientações Norte, Sul, Leste e Oeste e malha ortogonal com 20 pontos de medição da iluminância, prevista pela IES LM-83-12 (ILLUMINATING..., 2012) e altura da área de trabalho a 90 cm do piso, **Figura 3**.

Como citar:

SANTOS, Gabriel de S.; LARANJA, Andrea C. Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2., 2022, Vitória. *Anais*[...]. Vitória: UFES, 2022. p. 295-304. ISBN: 978-989-53626-0-8

**Figura 3.** Malha ortogonal com 20 pontos.



**Fonte:** Autores, 2022.

As métricas utilizadas foram o índice de IULN (Iluminância Útil de Luz Natural), proposto por Nabil e Mardaljevic (2005) e o índice ALN (Autonomia de Luz Natural), desenvolvido pela *Association Suissedes Electriciens* (1989). Para o IULN, que mensura o percentual de instantes no ano em que a iluminância atinge a faixa que se deseja avaliar, admitiram-se faixas  $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ , para iluminância útil e  $E > 3000\text{lx}$ , para iluminância excessiva. Para o ALN, que mensura o percentual anual em que uma quantidade mínima de iluminância pré definida é atingida somente por luz natural, admitiu-se o valor mínimo de  $\geq 60\text{lx}$ , indicados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Os resultados das simulações permitiram análises comparativas, a partir dos percentuais de IULN e ALN, entre os três modelos propostos, com vistas a identificar os modelos que apresentam os melhores desempenhos. A análise do ALN permitiu investigar o percentual de horas/ano em que o ambiente de cozinha mantém um nível mínimo de iluminância de acordo com o mínimo estabelecido pela Norma de Desempenho NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

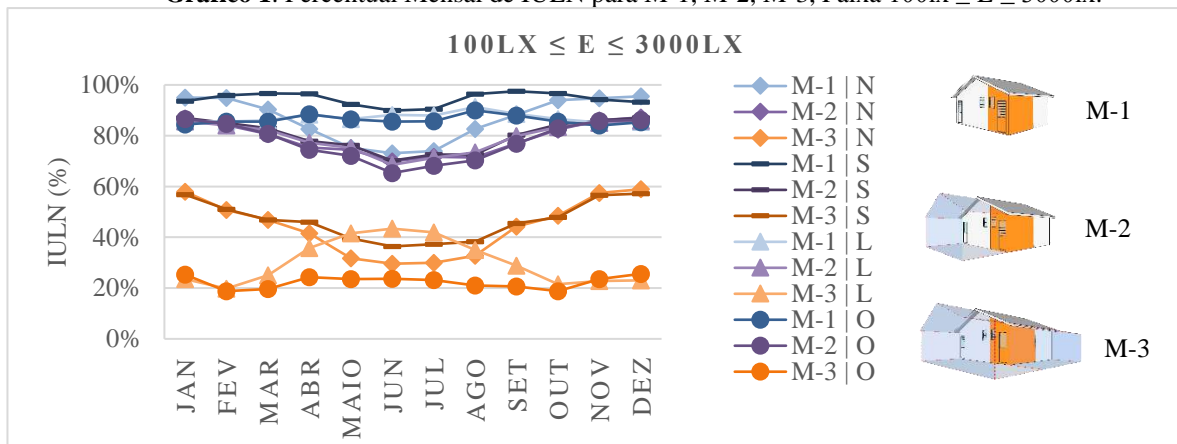
A análise dos resultados foi estruturada a partir dos seguintes modelos: M-1 (sem alterações), M-2 (com acréscimo de varanda) e M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo). Pode-se observar no **Gráfico 1** que, quanto aos percentuais mensais de IULN na faixa  $100\text{lx} \leq E \leq 3000\text{lx}$ , como já esperado, o modelo M-1 (sem alteração) apresenta os maiores percentuais de iluminância nesta faixa de valores para todas as orientações. O modelo M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo) para todas as orientações, apresenta os menores percentuais, com decréscimo que atinge até 80% desta faixa em relação ao modelo M-1 (sem alteração). Já no modelo M-2 (com acréscimo de varanda), este percentual de redução é menor, chegando a 35%. Estes resultados apontam para uma redução do acesso da luz natural no ambiente interno, acarretando uma iluminação inadequada para a realização das atividades e consequentemente o aumento da demanda pela iluminação artificial, com mitigação do desempenho energético da edificação. Vale ressaltar que, apesar do modelo M-1 (sem alteração) para orientação Norte, entre os meses de abril e agosto, apresentar os menores percentuais na faixa entre  $100\text{lx}$  e  $3000\text{lx}$ , este desempenho deve ser observado conjugado com a faixa de valores  $E > 3000\text{lx}$ , visto que esta última faixa apresenta valores próximos a 18%, acarretando ofuscamento e altos contrastes, **Gráfico 2**.

---

Como citar:

SANTOS, Gabriel de S.; LARANJA, Andrea C. Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2., 2022, Vitória. *Anais[...]*. Vitória: UFES, 2022. p. 295-304. ISBN: 978-989-53626-0-8

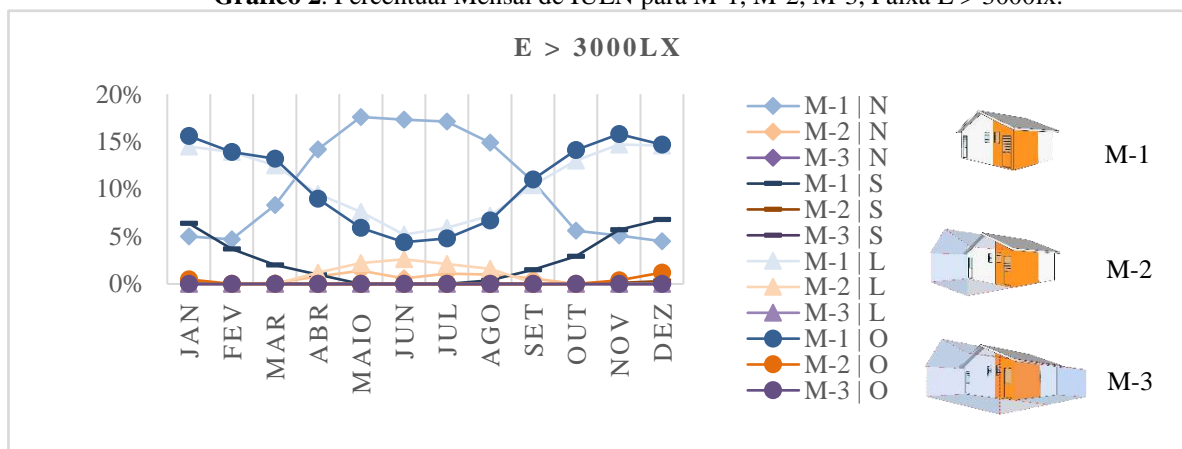
**Gráfico 1.** Percentual Mensal de IULN para M-1, M-2, M-3, Faixa 100lx ≤ E ≤ 3000lx.



Fonte: Autores, 2022.

No **Gráfico 2**, quanto aos percentuais mensais de IULN na faixa  $E > 3000lx$ , como já esperado, a melhor performance ocorre para os modelos M-2 (com acréscimo de varanda) e M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo) para todas as orientações. Isto é decorrente do fato de que nestes modelos há um bloqueio da iluminação direta em função do acréscimo de área. Por outro lado, a iluminação excessiva, mais presente no modelo M-1 (sem alteração), pode acarretar a necessidade de controle desta radiação solar, por intermédio de elementos externos ou internos às aberturas ou ainda os acréscimos adotados como nos modelos M-2 (com acréscimo de varanda) e M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo).

**Gráfico 2.** Percentual Mensal de IULN para M-1, M-2, M-3, Faixa  $E > 3000lx$ .

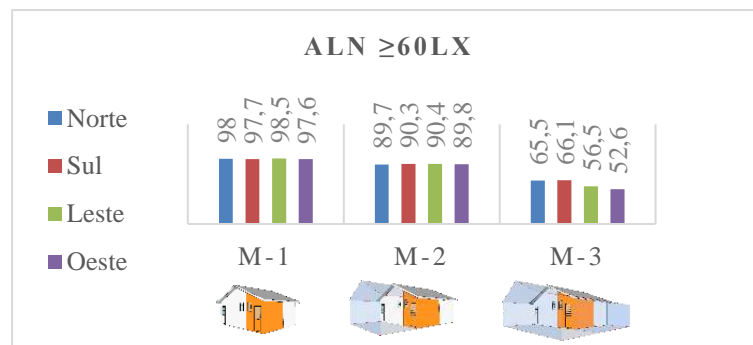


Fonte: Autores, 2022.

Para os percentuais de ALN, tendo sido estabelecido o limite mínimo de  $\geq 60lx$ , conforme a Norma de Desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), observa-se que o modelo M-1 (sem alterações) atende em quase 100% a todas as horas e orientações simuladas. Já para o modelo M-2 (com acréscimo de varanda), independente da orientação, observa-se uma redução de 10%. Para M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo), nota-se uma redução que varia entre 35% e 45% com a pior performance para a orientação Oeste e a melhor para Sul (**Gráfico 3**). Os resultados positivos encontrados para a orientação Sul, provavelmente são decorrentes da iluminação difusa proveniente da reflexão da luz em superfícies externas.

Como citar:

SANTOS, Gabriel de S.; LARANJA, Andrea C. Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2., 2022, Vitória. *Anais[...]*. Vitória: UFES, 2022. p. 295-304. ISBN: 978-989-53626-0-8

**Gráfico 3.** Percentual de ALN por modelo e orientação.

Fonte: Autores, 2022.

## 5. COMENTÁRIOS FINAIS

O propósito deste artigo consistiu em analisar a influência da autoconstrução na disponibilidade de iluminação natural em cozinhas de conjunto habitacional unifamiliar. Como método, foram utilizadas simulações computacionais com o auxílio do software TropLux 8 (CABÚS et al., 2020), a partir de três modelos estabelecidos. As simulações foram realizadas em condições de clima tropical úmido, com aberturas orientadas para Norte, Sul, Leste e Oeste, sob o céu dinâmico (CDDL) de Vitória - ES.

Nas análises do índice IULN, faixa útil  $100lx \leq E \leq 3000lx$ , observou-se que, o modelo M-1 (sem alteração) apresentou os maiores percentuais de iluminância e os modelos M-2 (com acréscimo de varanda) e M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo), apresentaram reduções de 35% a 80%, respectivamente. Desta forma, este resultado aponta que os modelos M-2 (com acréscimo de varanda) e M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo), em função dos acréscimos de coberturas e cômodos contíguos à cozinha, acarretarão maior dependência de iluminação artificial, reduzindo o desempenho energético da edificação por subutilização da iluminação natural. No que se refere ao IULN faixa E  $> 3000lx$ , os modelos M-2 (com acréscimo de varanda) e M-3 (com acréscimo de varanda e cômodo) apresentaram a melhor performance para todas as orientações, visto reduzirem a entrada da radiação solar direta, ofuscamentos e contrastes lumínicos. O modelo M-1 (sem alteração), para orientação Norte, entre os meses de abril e agosto, épocas de menor altura solar, apresentou percentuais elevados de iluminância excessiva, próximos a 18% acarretando ofuscamento, altos contrastes e ganhos térmicos. Neste sentido, recomenda-se em M-1 (sem alterações), a inserção de proteções solares que sejam capazes de mitigar a incidência de iluminação direta.

Quanto às análises do índice ALN, reduções significativas dos percentuais foram encontradas apenas em M-3, onde as áreas acrescidas prejudicaram a entrada da iluminação natural, com consequente prejuízo em se alcançar a iluminância mínima definida em  $\geq 60lx$ , conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013). Valores muito baixos de iluminância acabam por prejudicar a eficiência do ambiente, sobretudo a cozinha, onde as tarefas ali realizadas, exigem maior nível de atenção pelo manuseio de objetos perfurocortantes. O modelo M-2 apresentou-se satisfatório, visto que além de reduzir os percentuais de iluminação excessiva, teve resultados positivos com relação o ALN.

Por fim, em trabalhos futuros é interessante a confirmação da presença e motivação da autoconstrução, identificando as suas variações, a fim de obter respostas aos questionamentos: a planta mínima em projetos de habitação de interesse social atende às demandas de todas as famílias? Os projetos são propícios às adaptações? A iluminação excessiva é um fator preponderante na autoconstrução de conjuntos habitacionais unifamiliares?

Como citar:

SANTOS, Gabriel de S.; LARANJA, Andrea C. Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2., 2022, Vitória. *Anais*[...]. Vitória: UFES, 2022. p. 295-304. ISBN: 978-989-53626-0-8

Esta metodologia pode ser aplicada em outros contextos, para outros ambientes e para outros modelos. Ademais, novos estudos poderão ser realizados quanto à inserção de dispositivos de proteção solar e aberturas zenitais, como dutos de iluminação, para uma melhor disponibilidade de iluminação natural.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15715-1: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais**. ABNT, Rio de Janeiro, 2013.

ARAUJO, Geovanna Moreira; VILLA, Simone Barbosa. **A relação entre bem-estar e resiliência na habitação social: um estudo sobre os impactos existentes**. Ambiente Construído, v. 20, p. 141-163, 2020.

ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS. **SN 418911: éclairage intérieur par la lumière du jour**. Zurich, 1989.

BORTOLI, K. C. R. de; VILLA, S. B. **Adequação ambiental como atributo facilitador da resiliência no ambiente construído em Habitações de Interesse Social**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 391-422, jan./mar. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000100381>. Acesso em: ago. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **O que é o déficit habitacional**. Brasília, 2022 Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/casa-verde-e-amarela/o-que-e-o-deficit-habitacional#:~:text=O%20termo%20d%C3%A9ficit%20habitacional%2C%20em,ou%20que%20n%C3%A3o%20possuem%20moradia..> Acesso em: ago. 2022.

BRASIL. Senado Federal. **As novas possibilidades para o programa Minha Casa, Minha Vida**. Senado Notícias, Brasília, 05 maio 2018. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/as-novaspossibilidades-para-o-programa-minha-casa-minha-vida>. Acesso em: 8 ago. 2022.

CABÚS, Ricardo C.; RIBEIRO, Pedro V. S.; BASTOS, Orestes M. K.; SILVA, Luís F. **TropLux 8**. Titulares: Universidade Federal de Alagoas, Instituto Lumeeiro. BR512020002087-9. Criação: 10 set. 2019. Registro: 06 out. 2020.

CAPELUTO, I. G. **The Influence of The Urban Environment on the Availability of Daylighting in Office Buildings in Israel**. Building and Environment, v. 38, n. 5, p. 745-752, may 2002.

CAU/BR – Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil. **Pesquisa CAU/BR – Data Folha 2022**. CAU, Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.caubr.gov.br/pesquisa2022/>. Acesso em: 7 ago. 2022.

DEPNER, Christopher M. et al. **Ad libitum weekend recovery sleep fails to prevent metabolic dysregulation during a repeating pattern of insufficient sleep and weekend recovery sleep**. Current Biology, v. 29, n. 6, p. 957-967. e4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.01.069>. Acesso em: 8 ago. 2022.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **LM-83-12: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York, 2012.

KNOOP, Martine et al. **Daylight: what makes the difference?**. Lighting Research & Technology, v. 52, n. 3, p. 423-442, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1477153519869758>. Acesso em: 7 ago. 2022.

MÜNCH, Mirjam et al. **The role of daylight for humans: gaps in current knowledge**. Clocks & sleep, v. 2, n. 1, p. 61-85, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2624-5175/2/1/8>. Acesso em: 7 ago. 2022.

NABIL, Azza; MARDALJEVIC, John. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, v. 37, n. 1, p. 41-57, 2005.

Como citar:

SANTOS, Gabriel de S.; LARANJA, Andrea C. Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2., 2022, Vitória. **Anais[...]**. Vitória: UFES, 2022. p. 295-304. ISBN: 978-989-53626-0-8

ROHR, Franciele et al. **A estimativa anual da luz natural em unidades habitacionais: o caso do conjunto habitacional Jardim Ipês do Programa MCMV**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 12, p. e021025-e021025, 2021.

WAMS, Emma J; DPHIL; WOELDERS, Tom; MARRING, Irene; ROSMALEN, Laura van; BEERSMA, Domien G M; GORDIJN, Marijke C M; HUT, Roelof A. **Linking Light Exposure and Subsequent Sleep: A Field Polysomnography Study in Humans**. *Sleep*, Volume 40, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx165>. Acesso em: 7 ago. 2022.

WIRZ-JUSTICE, Anna; SKENE, Debra J.; MÜNCH, Mirjam. **The relevance of daylight for humans**. *Biochemical pharmacology*, v. 191, p. 114304, 202

---

Como citar:

SANTOS, Gabriel de S.; LARANJA, Andrea C. Impactos da Autoconstrução na Disponibilidade de Luz Natural em Cozinhas. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE SUSTENTABILIDADE URBANA, 2., 2022, Vitória. **Anais[...]**. Vitória: UFES, 2022. p. 295-304. ISBN: 978-989-53626-0-8

