ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

# Desempenho luminoso de diferentes proporções de ambientes a partir de abertura zenital tipo lightscoops

## Luminous performance of different proportions of environments from lightscoops-type zenithal opening

**Gabrielli Memelli**
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil |
gabrielli.memelli@edu.ufes.br
**Andréa Coelho Laranja**
Universidade Federal do Espírito Santo | Vitória | Brasil |
andreacoelholaranja@gmail.com

**Resumo**

Aberturas zenitais vêm sendo apontadas com boa capacidade de iluminação e maior homogeneidade da luz nos ambientes internos, mitigando os contrastes lumínicos, ao contrário das aberturas laterais. O objetivo desta pesquisa é investigar o desempenho luminoso de aberturas zenitais, tipo lightscoops, em Vitória – ES, a partir da variação das proporções do ambiente. A metodologia abrange simulação computacional no software TropLux, com medição da iluminância das 08h00 às 16h00, para todos os dias do ano, orientações Norte e Sul, em Céu Dinâmico. São quatro os modelos investigados: um ambiente com abertura lateral e pé-direito de 3,5 m (AL3); três ambientes com lightscoops e com variação de pé-direito em 3,5 m, 4,5 m e 5,5m (LT3, LT4 e LT5). Os parâmetros utilizados são a IULN, ALN e EMA. Constatou-se que, para as orientações Norte e Sul, os modelos com lightscoops apresentam, no intervalo suficiente da IULN, desempenho percentual superior em até 12,9% e 23,1%, respectivamente, comparado ao modelo com janela, no qual a melhor performance é a do LT3. Os resultados da EMA mostram que, dentre os modelos com lightscoops, somente o LT3 atinge o valor de 500 lux em todos os meses do ano.

Palavras-chave: Iluminação natural. Iluminação zenital. Lightscoops. Abertura zenital.

**Abstract**

*Zenithal openings have been identified with good lighting capacity and greater homogeneity of light in indoor environments, mitigating light contrasts, unlike lateral openings. The objective of this research is to investigate the luminous performance of zenithal openings, lightscoops-type, in Vitória – ES, based on variations in the proportions of the environment. The methodology comprehend computer simulation in the TropLux software, with measurement of illuminance from 8:00 am to 4:00 pm, for every day of the year, North and South orientations, in Dynamic Sky. Four models are investigated: one model with a lateral opening and ceiling height of 3.5 m (AL3); three models with lightscoops and varying ceiling heights of 3.5 m, 4.5 m and 5.5 m (LT3, LT4 and LT5). The parameters used were IULN, ALN and EMA. It was found that, for North and South, models with lightscoops present, within the sufficient IULN range, a higher percentage performance of up to 12.9% and 23.1%, respectively, compared to the windows*

Como citar:
MEMELLI, G.; LARANJA, A. C. Desempenho luminoso de diferentes proporções de ambientes a partir de abertura zenital tipo lightscoops. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

*model, in which the best performance is the LT3. EMA results show that, among the models with lightscoops, only the LT3 reaches a value of 500 lux in every month of the year.*

*Keywords: Daylighting. Zenithal lighting. Lightscoops. Zenithal opening.*

## INTRODUÇÃO

A luz natural, crucial para o bem-estar humano, deve ser integrada adequadamente nos ambientes internos das edificações, dada sua influência nas questões psicológicas e fisiológicas. Mardaljevic [1] aponta que a iluminação natural atua na regulação do sistema circadiano, no bem-estar, na qualidade do sono e na saúde dos usuários. Park *et al.* [2] complementam enfatizando os efeitos não visuais da luz no corpo humano, na qual sua ausência pode afetar negativamente a satisfação e produtividade dos usuários.

Neste sentido, aberturas laterais ou zenitais adequadamente projetadas podem assegurar a luz natural no ambiente interno, no qual diversas pesquisas vêm apresentando a boa performance lumínica a partir de aberturas zenitais. Lam [3] já há quase 40 anos advertia que, para garantir uma iluminação adequada em ambientes com maior área de piso, é desejável o uso de abertura zenital ao invés de aberturas laterais. Também, Acosta *et al.* [4] confirmam a ostensiva homogeneidade da luz obtida por meio das aberturas zenitais quando comparadas às outras tipologias. Mandala, Sutanto e Santoso [5] apontam que uma característica fundamental dessas aberturas é a distribuição uniforme da luz no interior, em contraste com a iluminação lateral, além de um nível mais elevado de iluminância. Mapelli *et al.* [6] concluíram que, dentre as aberturas zenitais, o lanternim apresentou níveis mais adequados de iluminância e maior uniformidade no ambiente interno.

Por outro lado, pesquisas demonstram aumento na performance lumínica do ambiente interno a partir da variação das proporções de ambientes internos associadas às aberturas zenitais, ou ainda da variação nas proporções das próprias aberturas zenitais. Mapelli *et al.* [7] apontam resultados positivos em aberturas do tipo lanternim em ambientes associados ao pé direito de 5,4 m quando comparados ao pé direito de 2,7 m em localidades de céu parcialmente encoberto e claro. Acosta *et al.* [4] observaram que ambientes em condição de céu nublado tiveram sua iluminação potencializada quando a relação altura/largura da claraboia é próxima de 4/3, independente das dimensões do ambiente.

Neste contexto, reiterando que as aberturas zenitais melhoram a performance luminosa interna e enfatizando a importância, especialmente em climas quentes, de reduzir a incidência solar direta nos ambientes internos, esta pesquisa busca responder à pergunta: Qual é a performance lumínica de um ambiente com abertura zenital tipo lightscoops, considerando variações nas proporções internas do ambiente? Desta forma, esta pesquisa tem como objetivo investigar o desempenho luminoso de aberturas zenitais, tipo lightscoops, em Vitória – ES, a partir da variação das proporções do ambiente.

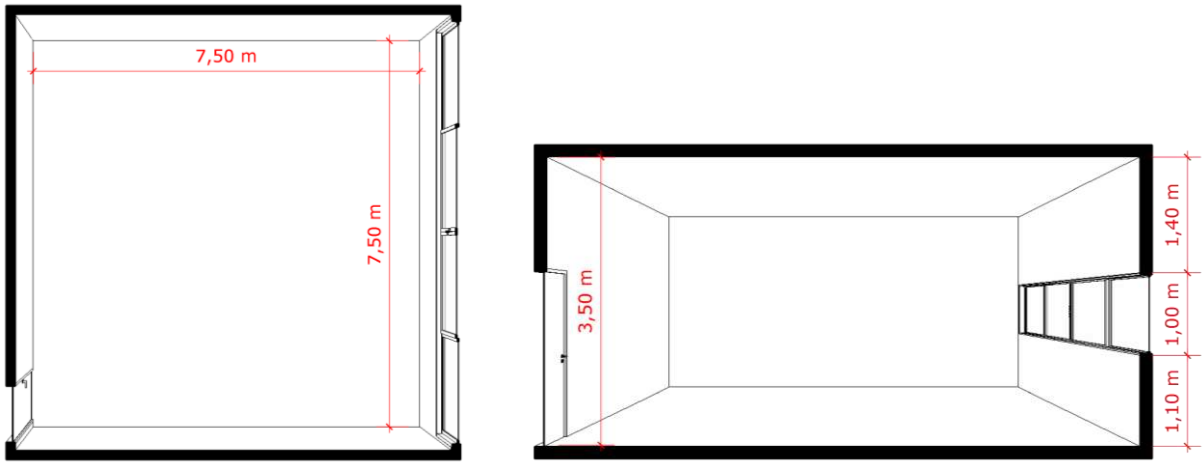
## MÉTODO

A metodologia adotada baseou-se em simulações computacionais conforme detalhado a seguir:

1. Caracterização do ambiente interno referencial adotado a partir de um modelo de ambiente interno escolar;
2. Definição e modelagem dos modelos e análise da Carta Solar;
3. Processamento dos modelos utilizando-se o software TropLux e construção de gráficos e análise dos resultados.

O ambiente interno referencial localiza-se em Vitória – ES (latitude 20°19’ S) e trata-se de uma sala de aula semelhante ao padrão estabelecido pela Prefeitura de Vitória – ES. Ele apresenta dimensões de 7,5 m x 7,5 m x 3,5 m, respectivamente largura, profundidade e pé direito (Figura 1). Consta, também, de uma abertura lateral de 7,1 m x 1,0 m de largura e altura respectivamente, com peitoril de 1,1 m, totalizando área de 7,1 m², correspondente à aproximadamente um oitavo, ou seja, 12,6% da área do piso da sala, representando um WWR (*Window to Wall Ratio*) de cerca de 25,0%.

**Figura 1: (a) Planta baixa fugada e (b) corte fugado do ambiente interno referencial. Com cotas e sem escala**

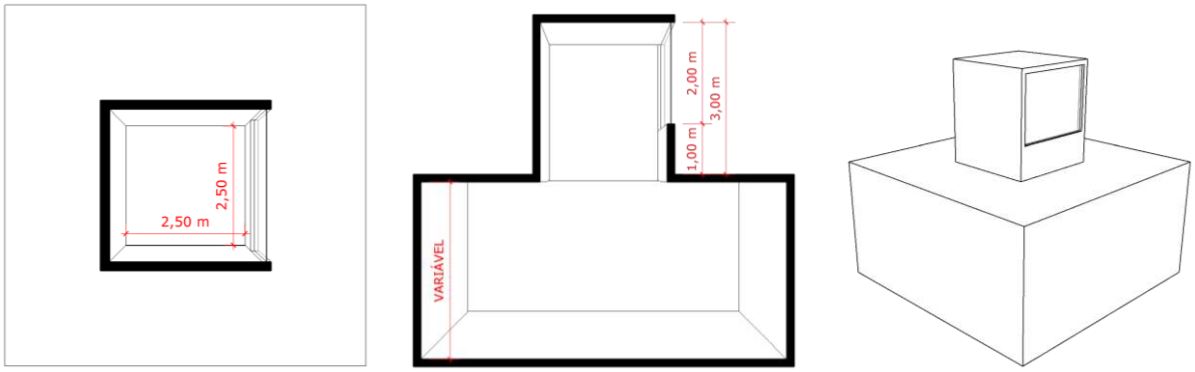



(a) (b)

Fonte: Autoral (2024).

O ambiente interno referencial foi utilizado para a construção dos novos modelos, mantendo-se a mesma largura e profundidade do ambiente, havendo alterações apenas no pé direito e no tipo de abertura, passando esta de abertura lateral para zenital (lightscoops). A abertura zenital adotada se manterá constante para todos os modelos. De acordo com o Código de Obras de Vitória – ES [8], a área de uma abertura zenital pode ser até 30% menor do que a área de uma abertura lateral. Desta forma, adotou-se área envidraçada do lightscoops de 5,0 m², com dimensões de 2,5 m x 2,0 m, respectivamente largura e altura, com peitoril de 1,0 m e vidro comum. O lightscoops caracteriza-se como um modelo de volume retangular de base 2,5 m x 2,5 m com altura de 3,0 m, configurando-se uma proporção de 4/3 de acordo com Acosta *et al.* [4] (Figura 2).

**Figura 2: (a) Detalhe da base do lightscoops, (b) corte fugado do modelo no qual o pé-direito é a única variável e (c) perspectiva do modelo com lightscoops. Com cotas e sem escala**

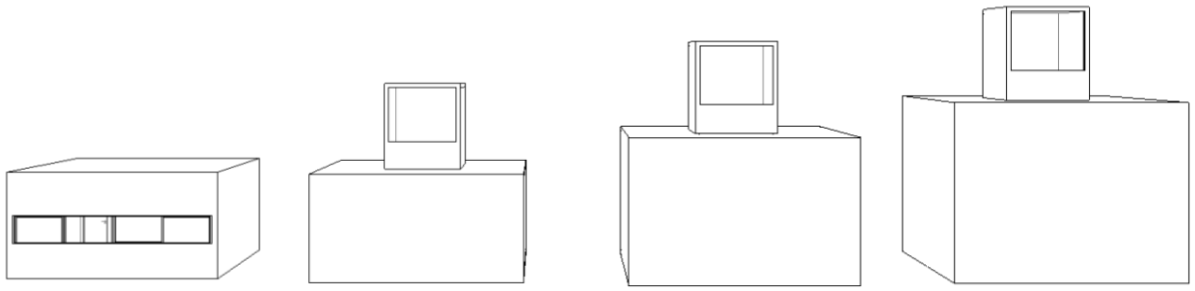



(a) (b) (c)

Fonte: Autoral (2024).

Foram simulados quatro modelos distintos sendo um modelo com abertura lateral e os demais modelos com aberturas zenitais tipo lightscoops. As proporções do modelo adotadas para as simulações são 7/15, 9/15 e 11/15, configurando-se essa relação pé-direito/base. Os modelos simulados são: (AL3) Ambiente com 3,5 m de pé direito na presença apenas de abertura lateral; (LT3) Ambiente com 3,5 m de pé direito na presença apenas de abertura zenital lightscoops; (LT4) Ambiente com 4,5 m de pé direito na presença apenas de abertura zenital lightscoops; (LT5) Ambiente com 5,5 m de pé direito na presença apenas de abertura zenital lightscoops (Figura 3). Em sequência, fez-se a análise da Carta Solar dos modelos LT3, LT4 e LT5, em função de um ponto central na altura de 0,75 m (plano de trabalho), cujos ângulos verticais são respectivamente 6,3°; 4,2° e 3,2°. Para Norte, é possível observar a reduzida radiação direta existente nesse ponto central entre os horários de 11h00 e 13h00, no qual o LT3 teve a maior incidência solar. Para Sul não há radiação direta para nenhum modelo (Figura 4).

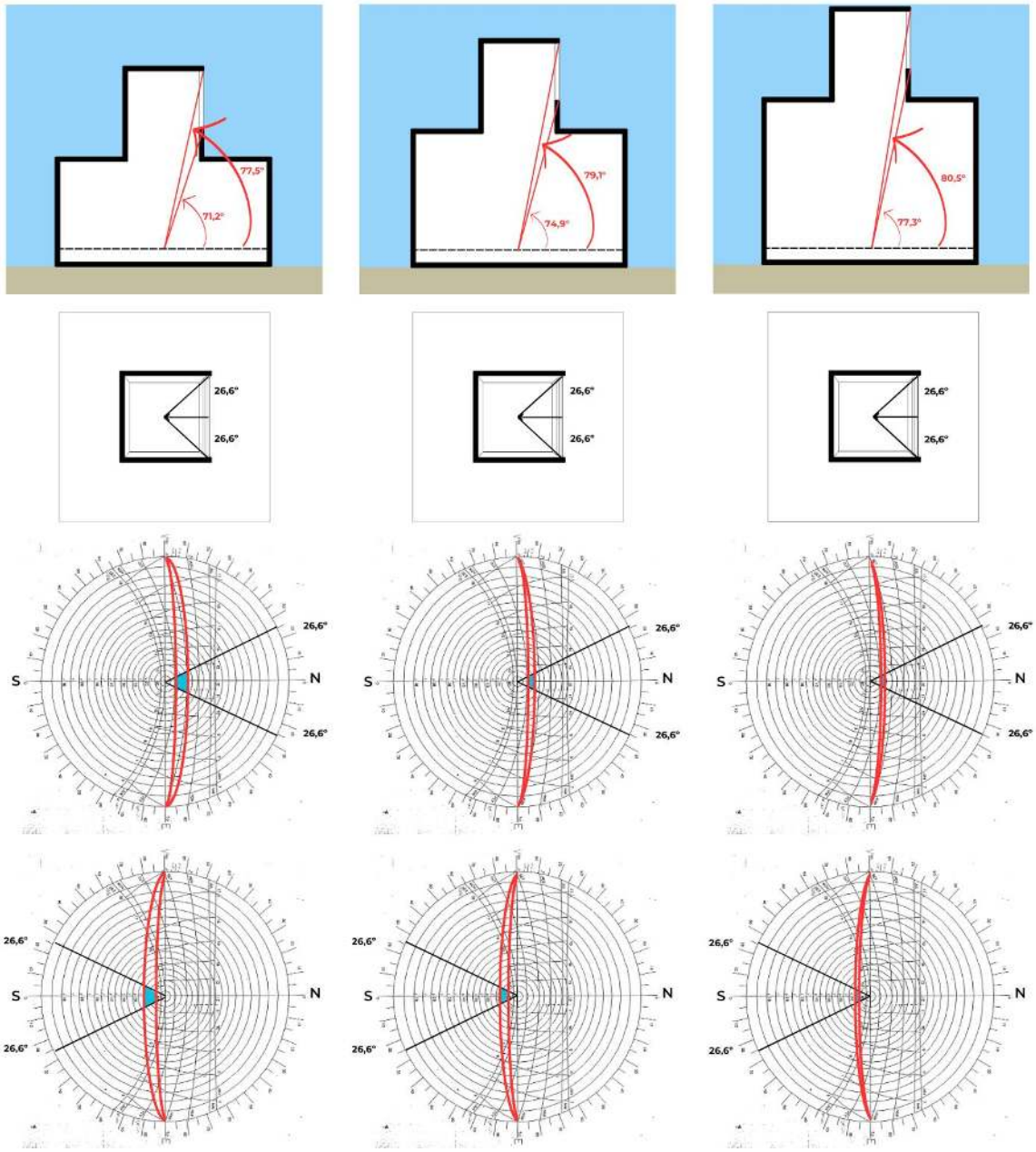
**Figura 3: Vista frontal perspectivada dos quatro modelos. Sem escala**



AL3 LT3 LT4 LT5

Fonte: Autoral (2024).

**Figura 4: Análise da Carta Solar dos modelos LT3, LT4 e LT5, para as orientações Norte e Sul, a partir dos ângulos verticais e horizontais e em função de um ponto central no ambiente**




Fonte: Autoral (2024).

As refletâncias adotadas em todos os ambientes simulados foram: piso = 0,2; paredes internas = 0,6; paredes externas = 0,5; teto e paredes internas do lightscoops = 0,9 de acordo com a NBR ISO/CIE 8995-1 [9].

Os valores de iluminação obtidos pelo TropLux serão analisados em função do parâmetro Iluminância Útil de Luz Natural (IULN), de acordo com os intervalos de iluminância propostos por Mardaljevic *et al.* [10] (Quadro 1). Também serão avaliados em relação à Autonomia de Luz Natural (ALN) em função das faixas de iluminância sugeridas por Reinhart e Walkenhorst [11] (Quadro 2), e com relação à Iluminância Média Anual (EMA). Adotou-se como referência o valor de 500 lux indicado para a atividade de "leitura" pela NBR ISO/CIE 8995-1 [9].

**Quadro 1: Intervalos da IULN**

| Classificação | Intervalos de Iluminância |
|---|---|
| Iluminância insuficiente | 0-100 lux |
| Iluminância com necessidade de iluminação complementar | 100-300 lux |
| Iluminância suficiente | 300-3000 lux |
| Iluminância excessiva | >3000 lux |

Fonte: Mardaljevic *et al.* (2012).

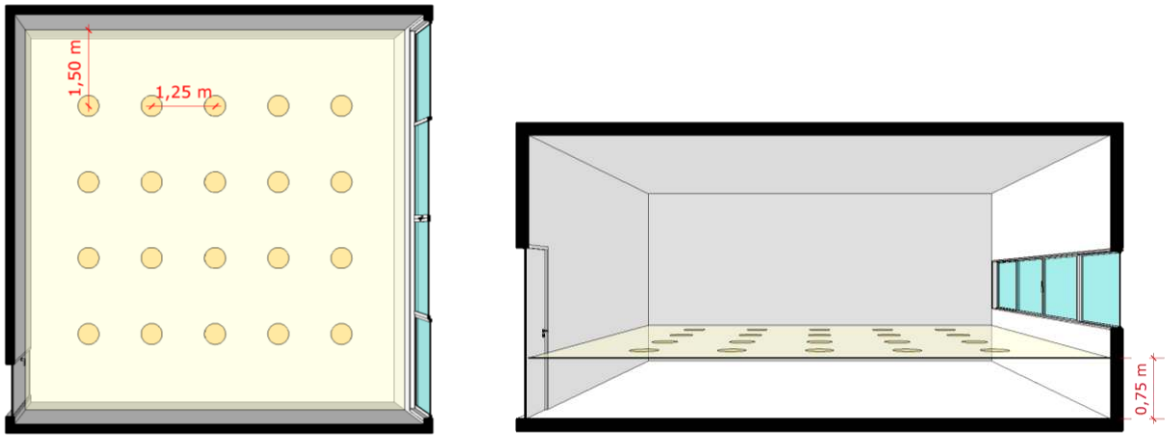
**Quadro 2: Intervalos da ALN**

| Classificação | Intervalos de Iluminância |
|---|---|
| Insuficiente | <55% |
| Aceitável | ≥55% |
| Preferível | ≥75% |

Fonte: Reinhart e Walkenhorst (2001).

Para o processamento dos modelos, utilizou-se o Céu Dinâmico de Vitória – ES. As simulações foram realizadas nos horários das 08h00 às 16h00, todos os dias do ano, com as aberturas (janela e lightscoops) orientadas para Norte e Sul. A partir da NBR 15215-4 [12], empregou-se para todos os modelos uma malha ortogonal de 20 pontos de medição em um plano de trabalho a 0,75 m do piso do ambiente interno (Figura 5). Apresenta-se em sequência o organograma da pesquisa (Figura 6).

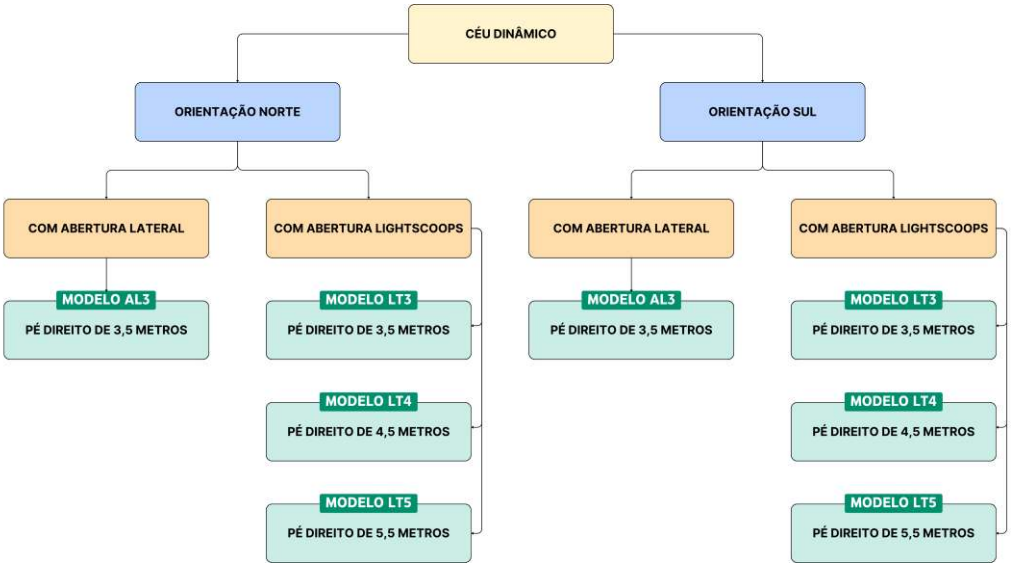
**Figura 5: (a) Planta baixa fugada do modelo AL3 e (b) corte fugado com os pontos de medição. Com cotas e sem escala**




(a) (b)

Fonte: Autoral (2024).

**Figura 6: Organograma de todos os modelos simulados**




Fonte: Autoral (2024).

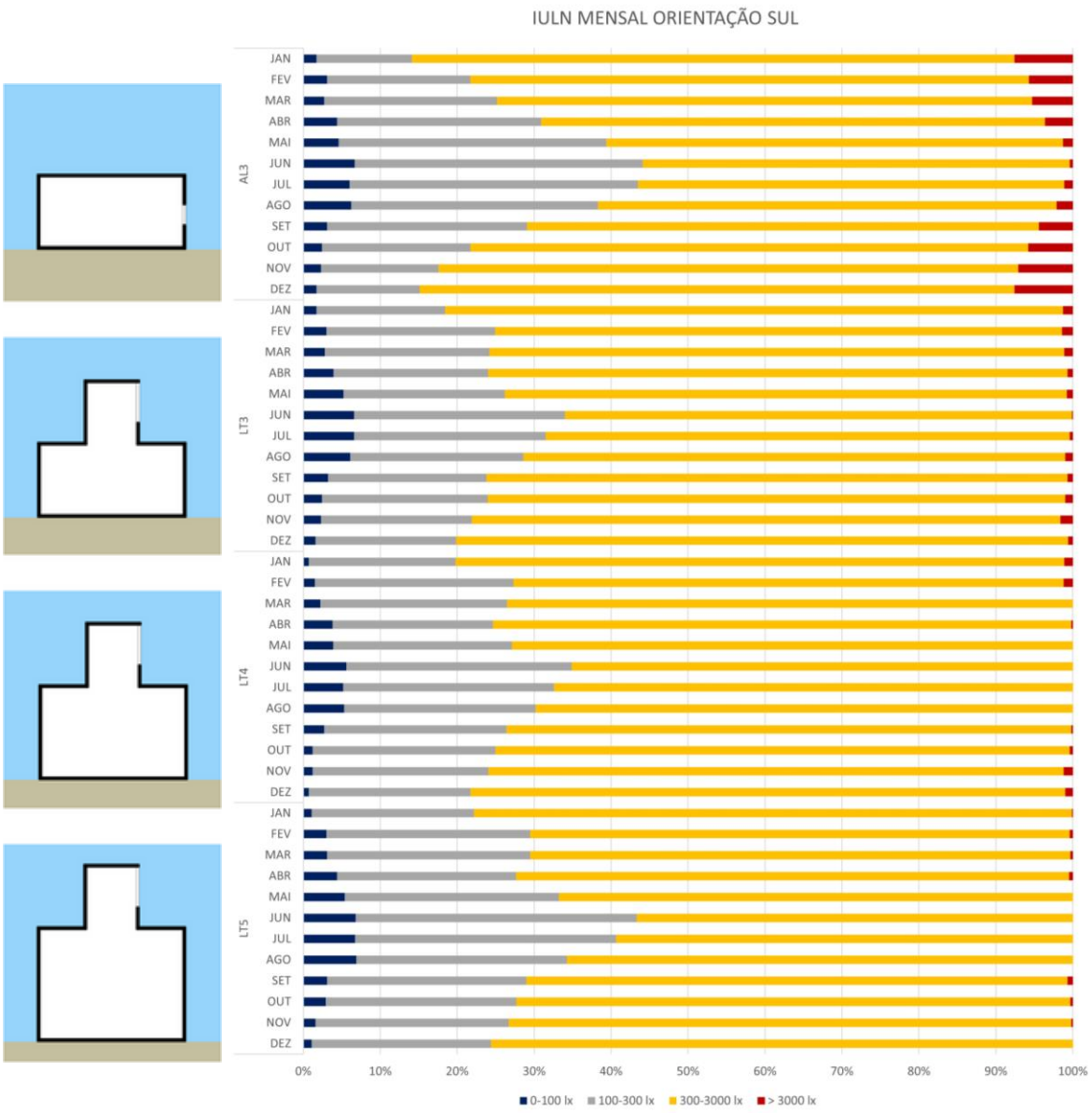
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que se refere à IULN, para Sul, é possível observar que o modelo AL3, como já era esperado, apresenta percentuais de iluminação excessiva (>3000 lux) que chegam a quase 10% nos meses de maior altura solar (outubro a fevereiro) (Gráficos 1 e 2). Observam-se, também, percentuais mínimos de iluminação excessiva nos meses de menor altura solar (maio a agosto), decorrente da trajetória solar de Vitória – ES que não possui radiação direta para aberturas orientadas ao Sul nesta época do ano. Já os modelos LT3, LT4 e LT5 possuem percentuais de iluminação excessiva insignificantes ao longo do ano, no qual o LT5 apresenta performance levemente superior aos demais. Conclui-se que a abertura zenital lightscoops, ao garantir a redução da iluminação excessiva, contribui na mitigação do ofuscamento na sala de aula, aprimorando o conforto visual do usuário.

Em relação ao intervalo de iluminação suficiente (300-3000 lux), verifica-se que o modelo LT3 possui o melhor desempenho. Isto provavelmente é decorrente do menor pé-direito e consequentemente do menor volume arquitetônico do ambiente, conferindo uma maior proximidade entre as superfícies internas refletoras da luz e os pontos de medição. Outro fato é que a Carta Solar do modelo LT3 constata um maior tempo de exposição à radiação solar direta, podendo contribuir para o aumento deste intervalo de iluminação (Figura 4).

No que se refere ao intervalo suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar (100-300 lux), a redução do pé-direito dos modelos com lightscoops conferiu uma melhor performance ao modelo LT3. Observa-se com isso que o LT3 apresenta o melhor desempenho ao longo de todo o ano com diferenças percentuais que chegam a quase 33% em comparação com LT5 (pior performance). Por último, o intervalo insuficiente (0-100 lux) não apresenta diferença relevante entre os modelos simulados.

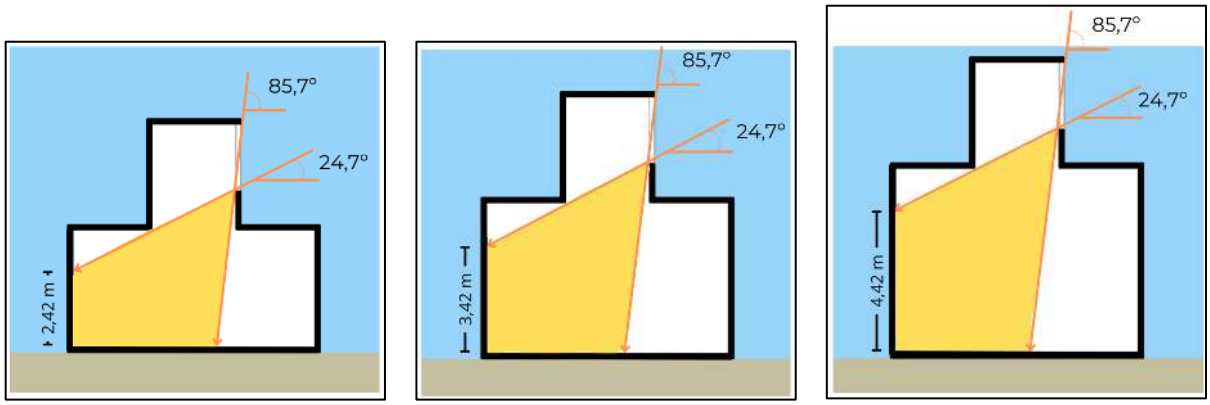
**Gráfico 1: Percentuais de iluminância mensal de acordo com os intervalos da IULN para a orientação Sul**




Fonte: Autoral (2024).

Todos os modelos com lightscoops possuem boas performances entre os meses de setembro a abril (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março), sendo que o modelo LT3 apresenta o melhor resultado e o modelo LT5 mostra uma queda percentual de desempenho entre os meses de abril a setembro (maio, junho, julho e agosto), chegando a 23,1% entre os modelos simulados (Tabela 1 e Gráfico 3). Nota-se que o aumento da área de parede interna refletora de luz não garantiu o aumento do percentual de iluminação suficiente no qual o modelo LT3, que apresenta a menor área interna de parede, apresentou os melhores resultados (Figura 7).

**Figura 7: Corte esquemático do acesso da radiação solar dos modelos (a) LT3, (b) LT4 e (c) LT5**




(a) (b) (c)

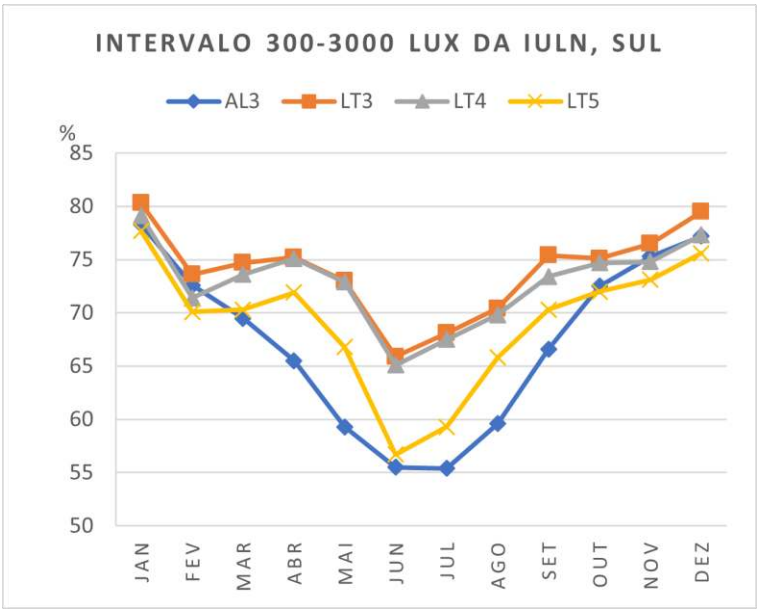
Fonte: Autoral (2024).

**Tabela 1: Percentuais do intervalo suficiente (300-3000 lux); em vermelho destaque para os maiores percentuais; em verde destaque para os menores percentuais; diferença percentual entre o maior e o menor valor. Orientação Sul**

| Mês | AL3 | LT3 | LT4 | LT5 | Diferença (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Janeiro | 78,3 | 80,3 | 79,1 | 77,7 | 3,3 |
| Fevereiro | 72,6 | 73,6 | 71,4 | 70,1 | 5,0 |
| Março | 69,5 | 74,7 | 73,6 | 70,3 | 7,5 |
| Abril | 65,5 | 75,2 | 75,1 | 71,9 | 14,8 |
| Maio | 59,3 | 73,0 | 72,9 | 66,8 | 23,1 |
| Junho | 55,5 | 65,9 | 65,1 | 56,7 | 18,7 |
| Julho | 55,4 | 68,1 | 67,5 | 59,3 | 22,9 |
| Agosto | 59,6 | 70,4 | 69,8 | 65,8 | 18,1 |
| Setembro | 66,6 | 75,4 | 73,4 | 70,3 | 13,2 |
| Outubro | 72,5 | 75,1 | 74,7 | 72,0 | 4,3 |
| Novembro | 75,3 | 76,5 | 74,8 | 73,1 | 4,7 |
| Dezembro | 77,2 | 79,5 | 77,3 | 75,6 | 5,2 |

Fonte: Autoral (2024).

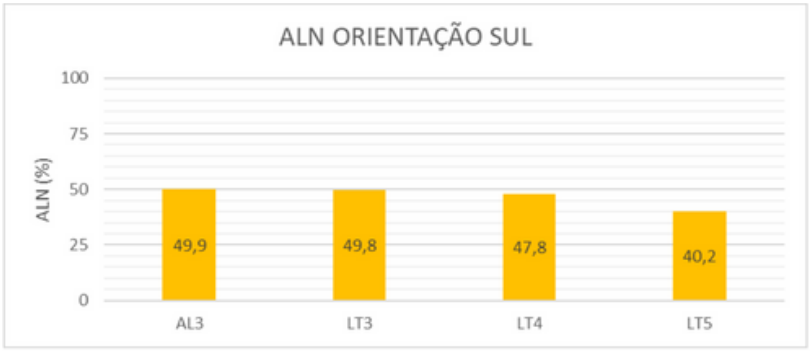
**Gráfico 3: Todos os modelos no intervalo suficiente (300-3000 lux). Orientação Sul**




Fonte: Autoral (2024).

A ALN pode ser classificada como insuficiente segundo os intervalos propostos por Reinhart e Walkenhorst [11], uma vez que todos os modelos mantêm percentuais inferiores a 55%, destacando o LT5, de maior pé-direito, com a pior performance (Gráfico 4). Apesar do valor encontrado para AL3, esse resultado não permite afirmar a boa performance deste modelo, visto que é necessária uma avaliação em conjunto com a iluminação excessiva, no qual este modelo apresenta pior performance.

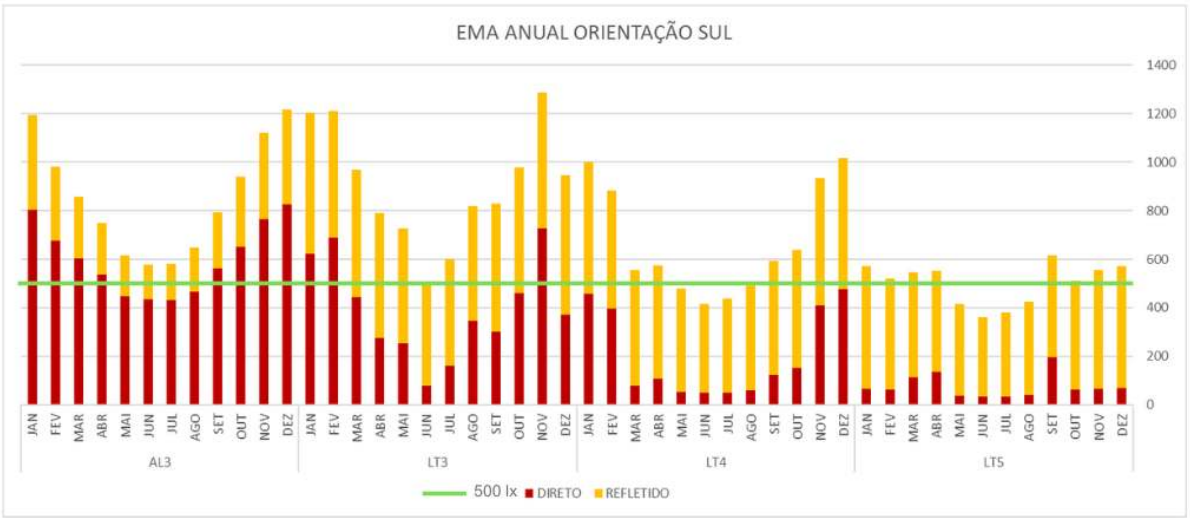
**Gráfico 4: Percentuais de iluminância anual da ALN para a orientação Sul**




Fonte: Autoral (2024).

Em relação à EMA, observa-se, como já era esperado, que o modelo AL3 possui a maior média de iluminância, destacando-se a parcela direta da luz (Gráfico 5). Já nos modelos com lightscoops, constata-se que a EMA é superior no modelo LT3 em função dos maiores valores da parcela direta em comparação com os outros modelos de lightscoops simulados, apesar das parcelas refletidas possuírem valores similares entre si. É possível afirmar, ainda, que somente o modelo LT3, dentre os modelos com abertura zenital, consegue atingir o valor de 500 lux indicado para a atividade de "leitura" pela NBR ISO/CIE 8995-1 [9] em todos os meses do ano.

**Gráfico 5: Iluminância Média Anual com destaque para a parcela direta e refletida para a orientação Sul**



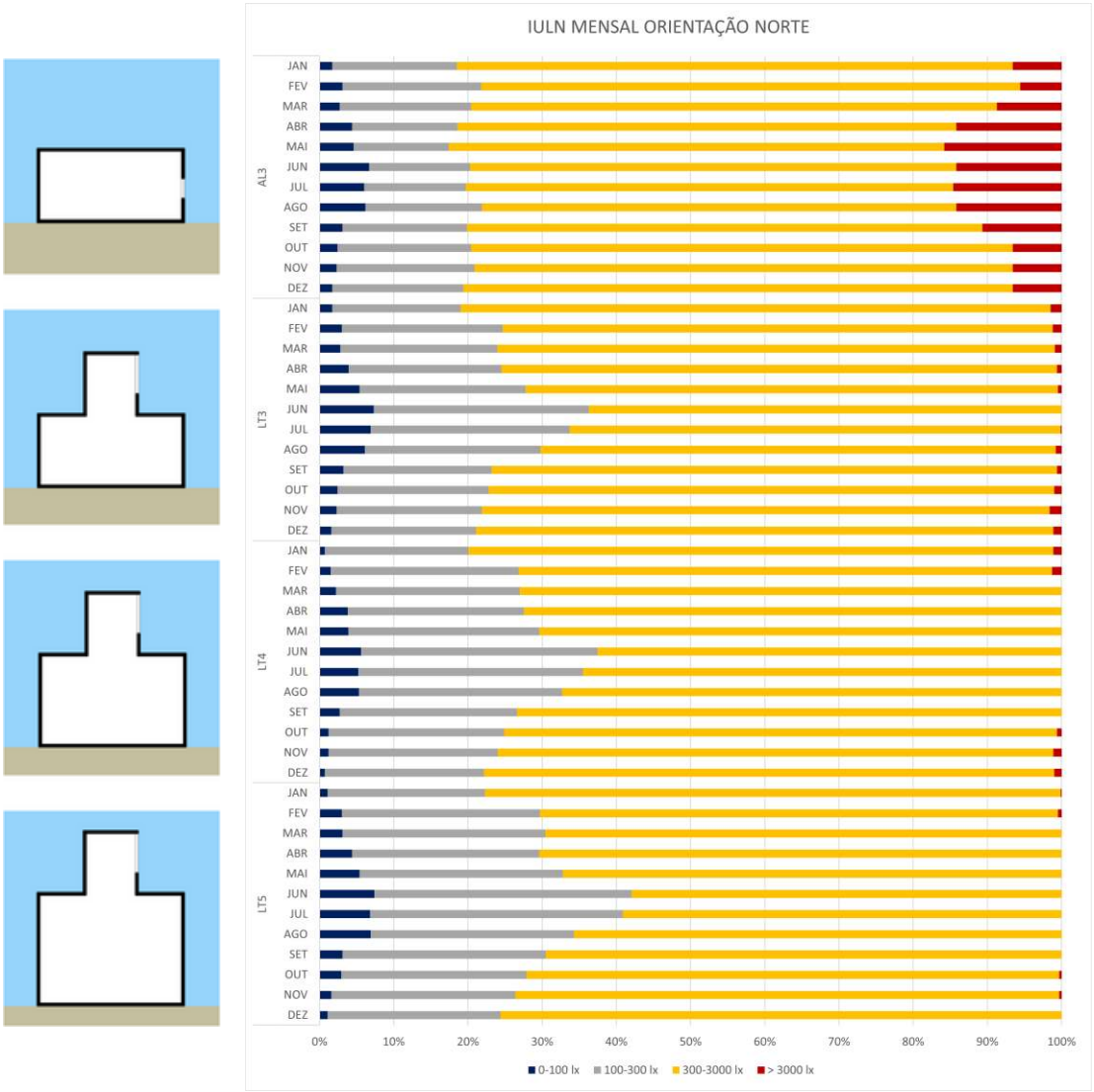

Fonte: Autoral (2024).

No que se refere à IULN, para Norte, é possível observar que o modelo AL3, como já era esperado, apresenta percentuais de iluminação excessiva (>3000 lux) elevados durante o ano todo, chegando a 15% nos meses de abril a agosto, provavelmente em

função do acesso da radiação solar direta nesses meses (Gráficos 6 e 7). Observa-se, também, que os modelos LT3, LT4 e LT5 possuem percentuais de iluminação excessiva insignificantes ao longo do ano, no qual o LT5 apresenta performance levemente superior. Em relação ao intervalo de iluminação suficiente (300-3000 lux), o modelo LT3 possui os maiores percentuais.

No intervalo suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar (100-300 lux), o modelo AL3 apresenta os menores percentuais, o que possibilitaria afirmar o seu bom desempenho. Porém, é importante lembrar que este modelo apresenta altos percentuais de iluminação excessiva, o que conduzirá o usuário à manipulação de cortinas e persianas, acarretando queda na iluminância interna e maior demanda por iluminação artificial. Já acerca dos modelos com lightscoops, a redução do pé-direito aponta melhores resultados, no qual o modelo LT3 demonstra o maior desempenho ao longo de todo o ano com diferenças percentuais que chegam a quase 22,54% em comparação com LT5 (pior desempenho). Por fim, o intervalo insuficiente (0-100 lux) não apresenta diferença relevante entre os modelos simulados.

**Gráfico 6: Percentuais de iluminância mensal de acordo com os intervalos da IULN para a orientação Norte**




Fonte: Autoral (2024).

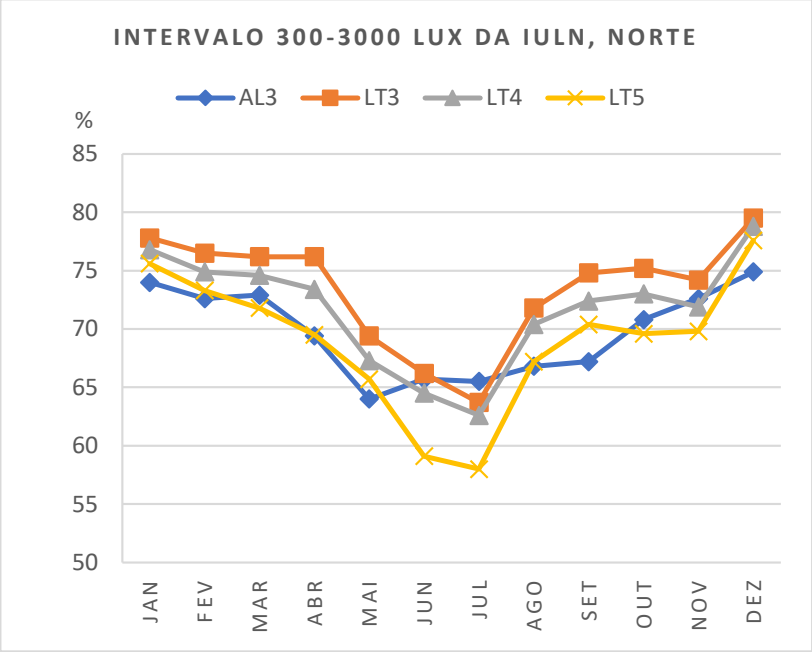
Por último, é possível concluir que, dentre os modelos com lightscoops, os modelos LT3 e LT4 apresentam boas performances, no qual o LT3 possui o desempenho levemente superior (Tabela 2 e Gráfico 8). Já o modelo LT5 exibe o pior resultado, com uma queda percentual de desempenho que pode ser mais bem notada nos meses de menor altura solar (junho e julho). Apesar de nos meses de junho e julho o modelo AL3 não apresentar uma queda drástica neste intervalo, essa análise deve ser feita em conjunto com a do intervalo de iluminação excessiva, no qual o AL3 chega a percentuais de 15%, o que conduzirá o usuário a manipular cortinas e persianas.

**Tabela 2: Percentuais do intervalo suficiente (300-3000 lux); em vermelho destaque para os maiores percentuais; em verde destaque para os menores percentuais; diferença percentual entre o maior e o menor valor. Orientação Norte**

| Mês | AL3 | LT3 | LT4 | LT5 | Diferença (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Janeiro | 74,0 | 77,8 | 76,8 | 75,6 | 5,1 |
| Fevereiro | 72,6 | 76,5 | 74,9 | 73,3 | 5,4 |
| Março | 72,9 | 76,2 | 74,6 | 71,8 | 6,1 |
| Abril | 69,4 | 76,2 | 73,4 | 69,5 | 9,8 |
| Maio | 64,0 | 69,4 | 67,3 | 65,7 | 8,4 |
| Junho | 65,7 | 66,2 | 64,5 | 59,1 | 12,0 |
| Julho | 65,5 | 63,7 | 62,6 | 58,0 | 12,9 |
| Agosto | 66,8 | 71,8 | 70,4 | 67,2 | 7,5 |
| Setembro | 67,2 | 74,8 | 72,4 | 70,4 | 11,3 |
| Outubro | 70,8 | 75,2 | 73,0 | 69,6 | 8,0 |
| Novembro | 72,6 | 74,2 | 71,9 | 69,8 | 6,3 |
| Dezembro | 74,9 | 79,5 | 78,8 | 77,6 | 6,1 |

Fonte: Autoral (2024).

**Gráfico 8: Todos os modelos no intervalo suficiente (300-3000 lux). Orientação Norte**




Fonte: Autoral (2024).

A ALN é classificada como aceitável para o modelo AL3, segundo os intervalos propostos por Reinhart e Walkenhorst [11] (Gráfico 9). Porém, isto é decorrente da parcela direta da radiação solar, o que irá acarretar grandes contrastes ao ambiente.

No entanto, para os modelos com lightscoops, a ALN apresenta-se como insuficiente, sendo que o modelo LT5, de maior pé-direito, demonstrou a pior performance.

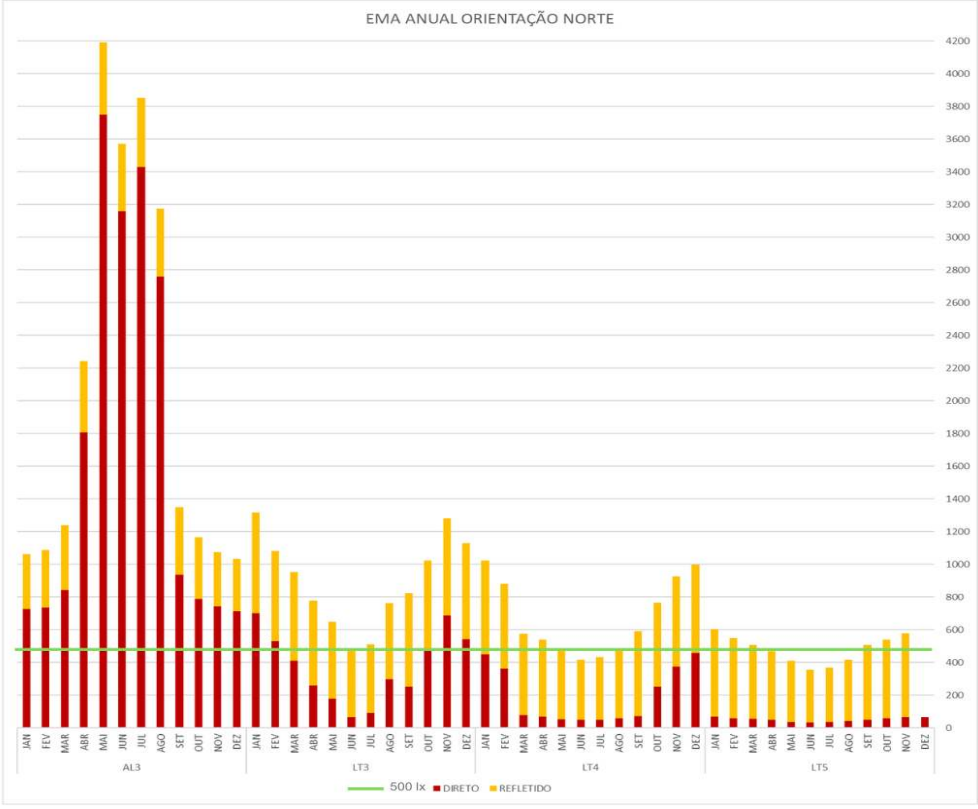
**Gráfico 9: Percentuais de iluminância anual da ALN para a orientação Norte**




Fonte: Autoral (2024).

Em relação à EMA, observa-se, como já era esperado, que o modelo AL3 possui a maior média de iluminância, destacando-se, porém, que a parcela direta da luz é quase três vezes maior quando comparada com a orientação Sul (Gráfico 10). Já nos modelos com lightscoops, nota-se que as parcelas refletidas possuem valores similares entre si, porém há uma parcela expressiva da radiação solar direta para o LT3, com a EMA superior neste modelo. É possível afirmar, ainda, que somente o modelo LT3, dentre os ambientes com abertura zenital, consegue atingir o valor de 500 lux indicado para a atividade de "leitura" pela NBR ISO/CIE 8995-1 [9] em todos os meses do ano.

**Gráfico 10: Iluminância Média Anual com destaque para a parcela direta e refletida para a orientação Norte**




Fonte: Autoral (2024).

## CONCLUSÃO

A pesquisa apresenta um estudo de aberturas zenitais, lightscoops, nas orientações Norte e Sul por meio de simulações em ambiente de sala de aula em condições de Céu Dinâmico em Vitória – ES. O objetivo é investigar o desempenho luminoso de aberturas zenitais, tipo lightscoops, em Vitória – ES, a partir da variação das proporções do ambiente.

No que se refere aos resultados da IULN, tanto para Sul quanto para Norte, o uso da abertura zenital garante a redução da iluminação excessiva para todos os meses do ano com percentuais insignificantes, mitigando o ofuscamento e contrastes lumínicos na sala de aula, aumentando a homogeneidade da iluminação e, consequentemente, aprimorando o conforto visual. Este resultado está de acordo com as pesquisas de Acosta *et al.* [4] e Mandala, Sutanto e Santoso [5] que apontam a maior homogeneidade da luz a partir do uso da abertura zenital. Como já era esperado, no modelo com abertura lateral, estes percentuais de iluminação excessiva chegam a 10% para Sul e 15% para Norte.

Os modelos com lightscoops possuem boas performances no intervalo de iluminação suficiente com destaque para os meses de maior altura solar, no qual, para Sul, o modelo LT3, de menor pé-direito, apresenta o melhor desempenho, com diferença percentual de até 23,1% entre os modelos simulados, sendo que, para Norte, essa diferença reduz para 12,9%. No intervalo suficiente, mas com necessidade de iluminação complementar, em ambas as orientações, o modelo LT3, mais uma vez, exibe melhores resultados ao longo de todo o ano com diferenças percentuais que chegam a 33% para Sul e 22,54% para Norte em comparação com o modelo LT5, de maior pé-direito. Desta forma, a redução do pé-direito confere uma melhor performance dos modelos de abertura zenital com menor demanda por iluminação artificial no Céu Dinâmico de Vitória-ES. Este resultado, porém, não vai ao encontro das pesquisas de Mapelli *et al*., nas quais o aumento do pé-direito em localidades de céu parcialmente encoberto e claro apontaram melhores resultados na iluminação.

Em relação à EMA, dentre os ambientes com abertura zenital, em ambas as orientações, somente o modelo LT3 consegue atingir o valor de 500 lux indicado para a atividade de “leitura” pela NBR ISO/CIE 8995-1 [9] em todos os meses do ano. É possível afirmar que dentre os modelos analisados a proporção de 7/15 apresentou resultados mais significativos quando aplicados ao Céu Dinâmico de Vitória-ES.

O estudo confirmou a capacidade que o lightscoops apresenta no controle da iluminação no ambiente interno, minorando a iluminação excessiva, aumentando a homogeneidade e controlando o ofuscamento. É relevante destacar, porém, a importância da abertura lateral para conferir ventilação natural e vista externa, não devendo esta abertura ser suprimida. É importante ressaltar que o lightscoops foi dimensionado em função de um modelo específico de sala de aula para Vitória – ES. Como projetos futuros, pretende-se investigar diferentes proporções de lightscoops também em novas características de céu.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo e ao Laboratório de Planejamento e Projetos pelo suporte acadêmico e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

[1] MARDALJEVIC, J. The implementation of natural lighting for human health from a planning perspective. **Lighting Research & Technology**, v. 53, n. 5, p. 489-513, 2021.

[2] PARK, J.; LOFTNESS, V.; AZIZ, A.; WANG, T. Strategies to achieve optimum visual quality for maximum occupant satisfaction: Field study findings in office buildings. **Building and Environment**, v. 195, p. 107458, 2021.

[3] LAM, William. **Sunlighting as formgiver for architecture**. 1985.

[4] ACOSTA, I.; NAVARRO, J.; SENDRA, J. J.; ESQUIVIAS, P. Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of proportion and spacing under overcast sky conditions. **Energy and Buildings**, v. 49, p. 394-401, 2012.

[5] MANDALA, Ariani; SUTANTO, EB Handoko; SANTOSO, Amirani Ritva. The effectiveness of dayligting through the toplighting design in large-volume building models. **ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur**, v. 6, n. 2, p. 223-234, 2021.

[6] MAPELLI, Y. R.; LARANJA, A. C., ALVAREZ, C. E. de. **Avaliação de desempenho entre as tipologias de aberturas zenital e lateral no quesito iluminação natural de ambientes internos**, 2018.

[7] MAPELLI, Y. R.; LARANJA, A. C.; ALVAREZ, C. E. de. **Eficiência de abertura zenital associada a variação de pé direito do compartimento**, 2019.

[8] VITÓRIA. Lei n°. 4821, de 30 de dezembro de 1998. **Código de Edificações do Município de Vitória**. Vitória, 1998. Disponível em: https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-vitoria-es. Acesso em: 04 dez. 2023.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/CIE 8995-1**: Iluminação de ambientes de trabalho: Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

[10] MARDALJEVIC, J.; ANDERSEN, M.; ROY, N.; CHRISTOFFERSEN, J. Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probabilty?. In: PROCEEDINGS OF THE BUILDING SIMULATION AND OPTIMIZATION CONFERENCE. BSO12. 2012.

[11] REINHART, C.; WALKENHORST, O. Validation of dynamic radiance-based daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, Freiburg, v. 33, n. 1, p. 683-697, jan. 2001.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15215-4**: Iluminação natural: Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação natural interna. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.