

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

GUILHERME NÓBREGA DE CASTRO

COMPONENTES DE CONDUÇÃO DA LUZ NATURAL EM EDIFÍCIOS  
MULTIFAMILIARES

JOÃO PESSOA

2013

GUILHERME NÓBREGA DE CASTRO

COMPONENTES DE CONDUÇÃO DA LUZ NATURAL EM EDIFÍCIOS  
MULTIFAMILIARES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba como um dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Solange Maria Leder

JOÃO PESSOA

2013

C355c Castro, Guilherme Nóbrega de.  
Componentes de condução da luz natural em edifícios multifamiliares / Guilherme Nóbrega de Castro.-- João Pessoa, 2013.  
127f. : il..  
Orientadora: Solange Maria Leder  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT  
1. Arquitetura e urbanismo. 2. Iluminação natural. 3. Componentes de condução da luz. 4. Conforto ambiental. 5. Simulação computacional.

UFPB/BC

CDU: 72+711(43)

**“Componentes de condução da luz natural em edifícios multifamiliares”**

**Por**

**Guilhermè Nóbrega de Castro**

Dissertação aprovada em 04 de Outubro de 2013

  
**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Solange Maria Leder – UFPB**  
**Orientadora**

  
**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Claudia Verônica Torres Barbosa – UFPB**  
**Examinadora Externa**

  
**Prof. Dr. Leonardo Salazar Bittencourt – UFAL**  
**Examinador Externo**

João Pessoa-PB  
2013

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, acima de tudo.

À minha família.

Aos meus amigos.

Aos colegas e amigos do PPGAU e do LABCON.

À professora Solange.

Ao professor Luiz Bueno da Silva e a Erivaldo Lopes de Souza do LabMEQA.

Aos professores examinadores Cláudia Torres e Leonardo Bittencourt.

Aos professores e funcionários do PPGAU.

## RESUMO

O uso da luz natural como fonte de iluminação além dos impactos positivos no bem-estar físico e mental do homem possui vantagens econômicas. A possibilidade de economia de energia elétrica depende da obtenção do nível de iluminamento requerido, de forma total ou complementar. O entorno e a edificação, através dos componentes de passagem e condução da luz, são elementos determinantes da maior ou menor possibilidade de aproveitamento da luz natural. Nesse aspecto, este trabalho tem como objeto de estudo o potencial de aproveitamento da luz natural, considerando as dimensões mínimas permitidas pelo Código de Obras de João Pessoa, em ambientes residenciais com sistema de iluminação natural composto de componentes de passagem associados a componentes de condução. O método para a análise do comportamento da luz natural foi simulação computacional, tendo sido utilizado o *software* Daysim. Foram realizadas 480 simulações para cinco ambientes – sala/quarto 01, quarto 02, quarto de empregados, cozinha e banheiro –, associando três variáveis no componente de condução – peitoril transparente e opaco; componente de condução saliente e encravado; e profundidade do componente de condução (1,20; 1,50; 2,00; 2,50 e 3,00 m) – e três variáveis associadas ao entorno – entorno construído a partir do critério de máxima ocupação do solo; altura do pavimento (térreo e 4º pavimento); e orientação (Norte, Leste, Sul e Oeste). Os parâmetros de análise foram a Iluminância Natural Útil (INU) e a Autonomia da Luz Natural (ALN). Considerando as variáveis e os parâmetros adotados, aproximadamente 40% dos modelos simulados apresentam iluminação natural insuficiente. Os fechamentos laterais (saliente ou encravado), a transparência desses fechamentos e o pavimento destacam-se como variáveis que interferem significativamente nos níveis de iluminação natural.

**PALAVRAS-CHAVE:** Iluminação natural; componentes de condução da luz; conforto ambiental; simulação computacional.

## **ABSTRACT**

Daylight can provides human health and well-being, as well as economic benefits. Daylight can creates interesting interiors supportive of human health and energy can be saved by dimming down or switching off electric lighting that are not needed. The surrounding, the building design and the daylight system are key elements of the greater or lesser possibility of use of the natural light. This Master's dissertation aims to study the potential use of the natural light, considering the minimum window size required on João Pessoa – Paraíba – Brazil legislation (JOÃO PESSOA, 1971) for residential spaces illuminated by pass-through and conduction components. A series of computer simulations were used in evaluating the daylight availability, provided by Daysim. There were carried on 480 simulations by associating five residencial rooms – living room/bedroom 01; bedroom 02; maid's room; kitchen and bathroom – and six design variants – opaque and transparent sill; protruding and enclosed balcony; balcony's depth (1,20; 1,50; 2,00; 2,50 e 3,00 m), maximum plot ratio allowed; floor level (ground level and fourth floor); and North, East, South, and West facade orientations. Daylight Autonomy (DA) and Useful Daylight Illuminance (UDI) are the performance indicators used to predict the rooms' performance using dynamic daylight simulations. Around 40% of the models have fell-short levels of Useful Daylight Illuminance. Protruding or enclosed balcony, opaque or transparent sill, and floor level affects the levels of natural lighting in rooms.

**KEYWORDS:** Daylight; light conduction components; environmental comfort; computer simulation.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Objetivos dos projetos de iluminação natural.....  | 16 |
| Figura 2 – Esquema conceitual da influência da iluminação no desempenho humano.....   | 17 |
| Figura 3 – Fontes de luz natural. ....  | 25 |
| Figura 4 – Sistema de iluminação natural. ....  | 30 |
| Figura 5 – Distribuição da iluminação natural admitida através de aberturas laterais. ....  | 31 |
| Figura 6 – Relação da profundidade de penetração da luz natural em relação à altura da verga da janela. Em tom mais claro, valores encontrados em manuais técnicos. ....            | 32 |
| Figura 7 – Tipos de varandas.....   | 34 |
| Figura 8 – Esquema de dois casos de proteção solar.....   | 36 |
| Figura 9 – Corte esquemático de um pavimento tipo com varanda e circulação sombreando as paredes da unidade habitacional. ....  | 37 |
| Figura 10 – Exemplos de gráficos construídos a partir dos dados de iluminância de um arquivo TRY.....   | 46 |
| Figura 11 – Desenho esquemático da relação entre um ambiente e uma varanda. ....  | 49 |
| Figura 12 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual da sala. ....   | 52 |
| Figura 13 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual do quarto 02. ....  | 52 |
| Figura 14 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual do quarto de empregados. ....   | 53 |
| Figura 15 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual da cozinha. ....  | 53 |
| Figura 16 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual do WC.....  | 54 |
| Figura 17 – Mapa temático do bairro Planalto da Boa Esperança.....  | 55 |
| Figura 18 – Malha urbana elaborada para simulação. ....   | 56 |
| Figura 19 – Esquema metodológico de combinações.....  | 57 |
| Figura 20 – Planta baixa esquemática e vista tridimensional dos modelos desenvolvidos para simulação.....   | 58 |
| Figura 21 – Gráficos de isoALN da distribuição da luz natural nos ambientes com componente de condução saliente de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, pavimento térreo. ....  | 61 |
| Figura 22 – Gráficos de isoALN da distribuição da luz natural nos ambientes com componente de condução saliente de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, pavimento superior..... | 63 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 23 – Gráficos de isoALN da distribuição da luz natural nos ambientes com componente de condução encravado de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, pavimento térreo. ....  | 64  |
| Figura 24 – Gráficos de isoALN da distribuição da luz natural nos ambientes com componente de condução encravado de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, pavimento superior..... | 64  |
| Figura 25 – Diferença nos recuos laterais de modelos com varandas encravadas e salientes. ....   | 71  |
| Figura 26 – Vista frontal esquemática da possibilidade de penetração da luz natural pela lateral do componente de passagem saliente.....   | 75  |
| Figura 27 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos da Sala/quarto 01.....   | 77  |
| Figura 28 – Diferentes Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) gerados pela lateral da varanda. ....   | 82  |
| Figura 29 – Diferentes Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) gerados pela varanda. ..  | 84  |
| Figura 30 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos do Quarto 02. ....   | 86  |
| Figura 31 - Diferentes Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) gerados pela lateral do componente de condução. ....  | 92  |
| Figura 32 – Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) das aberturas.....   | 94  |
| Figura 33 – Possibilidade de incidência da radiação solar direta nas diferentes aberturas.....   | 96  |
| Figura 34 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos do Quarto de empregados. ....  | 97  |
| Figura 35 – Corte esquemático do ângulo de incidência luminosa dos ambientes com janela alta para os dois diferentes pavimentos analisados. ....                                     | 104 |
| Figura 36 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos da Cozinha. ....   | 106 |
| Figura 37 – Diferentes Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) gerados pela lateral do componente de condução. ....  | 112 |
| Figura 38 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos do Banheiro.....   | 113 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Apanhado em relação à pesquisa sobre iluminação natural. ....  | 18 |
| Tabela 2 – Temperatura da cor de fontes de iluminação. ....   | 24 |
| Tabela 3 – Eficiência luminosa de fontes de iluminação. ....  | 26 |
| Tabela 4 – Padrões adotados em diferentes países. ....  | 39 |
| Tabela 5 – Iluminâncias para residência. ....   | 39 |
| Tabela 6 – Padrões adotados em cidades brasileiras inseridas no ZB1 e ZB8. ....   | 42 |
| Tabela 7 – Quantidade mínima de pontos de avaliação. ....   | 47 |
| Tabela 8 – Características dos modelos elaborados a partir das exigências do Código de Obras para ambientes iluminados através de componente de condução da luz. .... | 50 |
| Tabela 9 – Características das superfícies. ....  | 51 |
| Tabela 10 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU. ....  | 66 |
| Tabela 11 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Saliente Transparente que apresenta cada intervalo da escala de INU. ....                                   | 67 |
| Tabela 12 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Encrava Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU. ....   | 68 |
| Tabela 13 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Encravada Transparente que apresenta cada intervalo da escala de INU. ....                                  | 69 |
| Tabela 14 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos. ....   | 70 |
| Tabela 15 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução encravado. ....   | 72 |
| Tabela 16 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução saliente. ....  | 74 |
| Tabela 17 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU. ....  | 79 |
| Tabela 18 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Encravada Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU. ....   | 80 |
| Tabela 19 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos. ....   | 81 |
| Tabela 20 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução encravado. ....   | 83 |
| Tabela 21 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução saliente. ....  | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 22 – Porcentagem da área dos modelos com a Circulação Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU.....    | 88  |
| Tabela 23 – Porcentagem da área dos modelos com a Circulação Encravada Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU.....   | 89  |
| Tabela 24 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos.....  | 90  |
| Tabela 25 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução encravado.....                                  | 93  |
| Tabela 26 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução saliente.....                                   | 95  |
| Tabela 27 – Porcentagem da área dos ambientes com a Circulação Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU.....  | 99  |
| Tabela 28 – Porcentagem da área dos ambientes com a Circulação Encravada Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU..... | 100 |
| Tabela 29 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos.....  | 101 |
| Tabela 30 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução encravado.....                                  | 103 |
| Tabela 31 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução saliente.....                                   | 105 |
| Tabela 32 – Porcentagem da área dos ambientes com a Circulação Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU.....  | 108 |
| Tabela 33 – Porcentagem da área dos ambientes com a Circulação Encravada Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU..... | 109 |
| Tabela 34 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos.....  | 110 |
| Tabela 35 – Resultado do teste de hipóteses dos modelos com componente de condução saliente.....                                  | 111 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ALN – Autonomia da Luz do Natural
- AVS – Ângulo Vertical de Sombreamento
- BSI – *The British Standards Institution*
- CAD – *Computer aided design* (desenho assistido por computador)
- CC – Componente do Céu
- CIBSE – *The Chartered Institution of Building Services Engineers*
- CIE – *Commission Internationale de l'Éclairage* (Comissão Internacional de Iluminação)
- CRE – Componente Refletida Interna
- CRI – Componente Refletida Externa
- DA – *Daylight Autonomy* (Autonomia da Luz Natural)
- FLD – Fator de Luz do Dia
- FRAUNHOFER ISE – *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems*
- INU – Iluminância Natural Útil
- LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina
- LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*
- NBR – Norma Brasileira
- NRCC – *National Research Council Canada*
- R5 – Edificação residencial de quatro pavimentos (térreo + três andares), de acordo com a legislação municipal de João Pessoa
- RAC-C – Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
- RTQ-C – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
- RTQ-R – Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
- TRY – *Test Reference Year* (ano climático de referência)
- UDI – *Useful Daylight Illuminance* (Iluminância Natural Útil)
- USGBC - *United States Green Building Council*
- ZB1 – Zona Bioclimática 1
- ZB8 – Zona Bioclimática 8

ZBB – Zonas Bioclimáticas Brasileiras

## SUMÁRIO

|   |     |
|---|-----|
| INTRODUÇÃO .....  | 15  |
| 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....   | 21  |
| 1.1. PROJETO DE ILUMINAÇÃO NATURAL .....                                  | 21  |
| 1.2. FONTES DE LUZ NATURAL .....  | 23  |
| 1.3. TIPOS DE CÉU .....   | 26  |
| 1.4. PARÂMETROS DE ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL.....                     | 27  |
| 1.5. ADMISSÃO DA ILUMINAÇÃO .....   | 29  |
| 1.5.1. Componentes de Passagem da Luz Natural – Abertura Lateral .....    | 30  |
| 1.5.2. Componentes de Condução da Luz Natural – Espaço Intermediário..... | 33  |
| 1.6. SOMBREAMENTO .....   | 35  |
| 1.7. LEGISLAÇÃO .....   | 37  |
| 1.8. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....  | 44  |
| 2. METODOLOGIA .....  | 48  |
| 2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS .....                                     | 48  |
| 2.1.1. Varanda e circulação .....   | 51  |
| 2.1.2. Sala .....   | 51  |
| 2.1.3. Quartos.....   | 52  |
| 2.1.4. Cozinha.....   | 53  |
| 2.1.5. Banheiro.....  | 54  |
| 2.2. CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO .....                                      | 54  |
| 2.3. SIMULAÇÃO DINÂMICA DA LUZ NATURAL .....                              | 56  |
| 2.4. PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                | 59  |
| 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....   | 61  |
| 3.1. AUTONOMIA DA LUZ NATURAL (ALN) .....                                 | 61  |
| 3.2. ILUMINAÇÃO NATURAL ÚTIL (INU) .....                                  | 65  |
| 3.2.1. Sala/quarto 01 .....   | 65  |
| 3.2.2. Quarto 02 .....  | 78  |
| 3.2.3. Quarto de empregados .....   | 87  |
| 3.2.4. Cozinha.....   | 98  |
| 3.2.5. Banheiro.....  | 107 |
| 3.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DA INU .....                       | 114 |
| 4. CONCLUSÕES .....   | 117 |

REFERÊNCIAS..... 122

## INTRODUÇÃO

A utilização da iluminação natural nas edificações possibilita a economia de energia elétrica quando a iluminância requerida é obtida de forma total ou complementar com essa fonte. No Brasil, devido à elevada disponibilidade de luz natural, esse potencial é acentuado. Além disso, o uso da luz natural proporciona uma luz de melhor qualidade, a sua variação contínua resulta em mudanças na proporção de luz e sombra, o que melhora a modelagem e a percepção visual dos espaços e objetos, ajuda a marcar a passagem do tempo com suas variações cíclicas, bem como influencia positivamente nosso senso de orientação espacial. Tais características melhoram o ambiente visual e trazem ao homem benefícios psicológicos e fisiológicos (BOGO & PEREIRA, 1997; KIM & KIM, 2010; LAM, 1986; LESLIE, 2003; PEREIRA, 1995).

As principais desvantagens do não aproveitamento da iluminação natural são o aumento significativo do uso da energia elétrica para manter os sistemas artificiais de iluminação, o que contribui para a poluição do meio ambiente e para o alto custo de manutenção dos edifícios, e os efeitos físicos e psicológicos negativos provocados nos usuários, dependendo da fonte de energia utilizada.

Baker, Fachiotti e Steemers (1993) comentam que a abordagem tradicional da iluminação natural era feita de forma experimental. A partir do desenvolvimento de ferramentas computacionais, o cálculo da iluminação natural vem se tornando mais simplificado para o uso em projetos de arquitetura. Outras razões pelas quais se tem excluído a luz solar são os efeitos negativos que decorrem do desconhecimento e da falta de um projeto adequado, como superaquecimento, ofuscamento e exposição de materiais sensíveis, como obras de arte.

O projeto de iluminação natural, de acordo com Lam (1986), é composto por cinco objetivos, que devem ter pesos iguais para que haja equilíbrio no resultado final, o ambiente construído, como representa a Figura 1. O primeiro objetivo apontado pelo autor é o conforto e bem-estar do usuário no espaço construído, que além do aspecto visual inclui aspectos térmicos, acústicos e psicológicos. O segundo, o atendimento ao programa de necessidades, engloba questões como a incidência direta da radiação e o sombreamento de aberturas, níveis de iluminação para atividades, entre outras. A minimização dos custos de manutenção da edificação é o terceiro objetivo mencionado e essa minimização pode ser conseguida através da integração dos sistemas de iluminação natural e artificial. O quarto objetivo se refere à concepção formal da edificação, em outras palavras, à imagem do edifício, que deve ser

coerente com o contexto urbano, social, cultural, etc, não apenas na fachada, mas também em seu interior. O quinto objetivo é a minimização dos custos de construção da edificação, influenciada pelas tecnologias e materiais empregados, pela coordenação eficiente dos projetos arquitetônico, estrutural, de instalações elétrica e hidrossanitária, paisagístico, luminotécnico, entre outros.

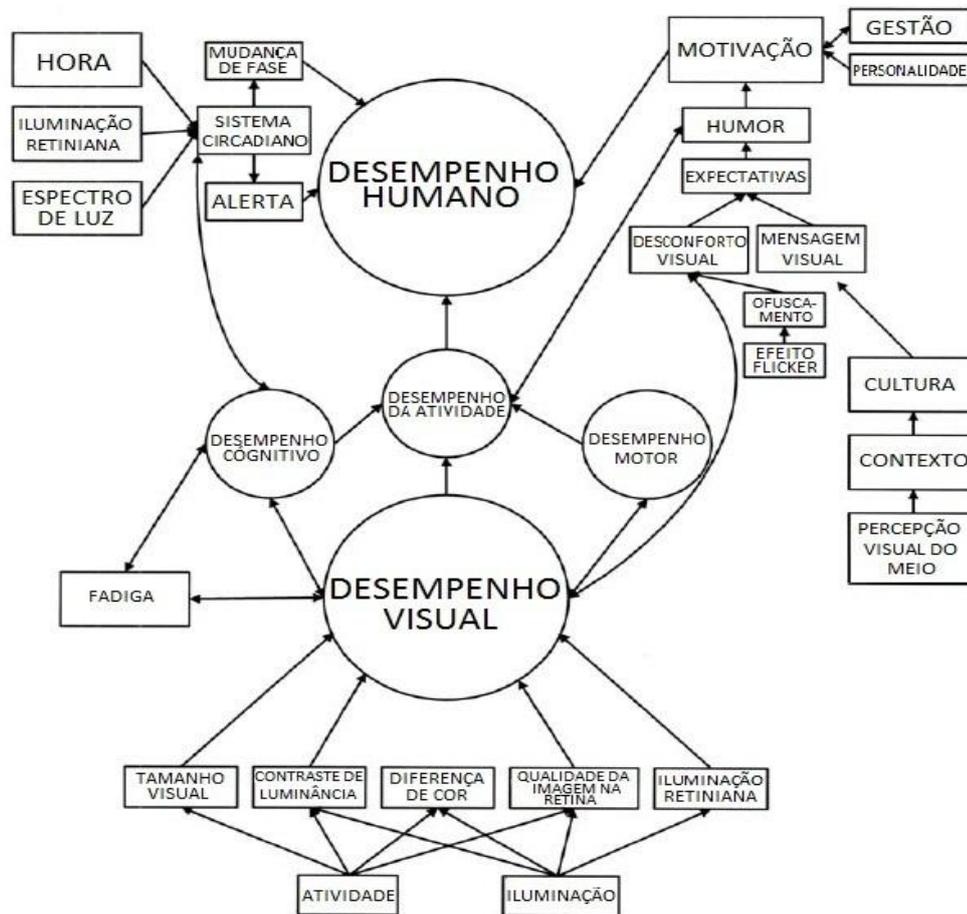
Figura 1 – Objetivos dos projetos de iluminação natural.



Fonte: Traduzido de Lam (1986).

A Figura 2 representa o esquema da influência da iluminação seja ela natural ou artificial no desempenho humano das atividades. Os sistemas visual, circadiano e perceptivo são os três principais condicionantes do desempenho humano para uma atividade. A influência da iluminação se dá na forma de regulação desses condicionantes. O sistema visual é basicamente afetado pela iluminação, dando condições ao ser humano de ver as coisas. O sistema circadiano é, resumidamente, o ciclo diário do sistema biológico do corpo humano, que é diretamente ligado à presença e ausência de luz, principalmente da luz natural. Já para a percepção do meio, a iluminação é apenas uma das variáveis que afetam o ser humano (BOYCE, 1998; BOYCE, HUNTER & HOWLETT, 2003; MUNEEER *et al.*, 2000).

Figura 2 – Esquema conceitual da influência da iluminação no desempenho humano.



Fonte: Traduzido de Boyce & Rea (2001) apud Boyce, Hunter & Howlett (2003).

Muneer *et al.* (2000) registram o apanhado realizado por Weir (1998) em relação à pesquisa sobre iluminação natural, enumerados na Tabela 1. A maior parte destas informações já faz parte do conhecimento básico dos arquitetos, porém percebe-se que, muitas vezes, tais informações são negligenciadas na concepção projetual, criando ambientes construídos que não atendem satisfatoriamente às demandas dos usuários (programa de necessidades), gerando altos custos de manutenção da edificação. Tal negligência acontece quando se prioriza a redução dos custos iniciais da obra, com projetos, materiais e/ou o aspecto estético em detrimento das características locais de clima, contexto urbano, cultural, histórico, etc.

A importância dessas considerações pode ser notada nas normas e manuais técnicos, que se baseiam nos avanços tecnológicos possibilitados pela difusão desses conhecimentos (e também necessários para essa difusão), no desenvolvimento de novos materiais e no

melhoramento dos materiais tradicionais para que haja adequação dos ambientes construídos ao contexto local e às diretrizes gerais de projetos adequados ao clima.

Tabela 1 – Apanhado em relação à pesquisa sobre iluminação natural.

| INFORMAÇÃO   | FONTE                   |
|--|-------------------------|
| As pessoas preferem ambientes com janelas e iluminação natural.  | Wyon & Nilson (1975)    |
| As pessoas se recuperam mais rapidamente de cirurgias e doenças em ambientes com janelas e iluminação natural.   | Loe & Davidson (1996)   |
| Para uma pessoa comum, receber até 1000 lux de luz natural por menos de uma hora por dia é insuficiente para manter uma disposição ideal. Um trabalhador de escritório pode passar até 50% do tempo em ambientes com iluminância entre 0,1 e 100 lux de luz natural.   | Espiritu (1994)         |
| Edifícios com baixos valores de Fator de Luz do Dia (FLD) produzem ambientes com iluminação homogênea, com pouco contraste e que favorece a dispersão do usuário, enquanto em ambientes com valores maiores, há criação de condições parecidas com as do exterior e manutenção de uma disposição ideal por mais tempo. | Cawthorne (1991)        |
| Uma abordagem completa da iluminação é necessária para proporcionar ambientes que sejam agradáveis aos olhos, confortáveis para os usuários e que não limitem a produtividade.   | Loe & Davidson (1996)   |
| As janelas podem provocar o ofuscamento, que pode gerar desconforto e até mesmo impedir atividades. A minimização desse problema pode ser conseguida através do dimensionamento apropriado das áreas transparentes, evitando valores maiores que 40% – 55% da área da fachada.   | Boubekri & Boyer (1992) |
| Em relação à proporção entre a área de abertura e de piso, afirma-se que valores muito acima de 25% reduzem a eficiência energética da construção e que valores próximos a 25% proporcionam eficiência energética ao possibilitar boa iluminação natural, reduzindo a utilização do sistema de iluminação artificial.  | Christoffersen (1995)   |
| Melhorias em relação à admissão da iluminação natural no ambiente interno podem proporcionar redução do consumo energético do sistema de iluminação artificial.  | Zeguers & Jacobs (1997) |

Fonte: WEIR (1998) apud MUNNER *et al.* (2000).

Scarazzato (1993) afirma que os instrumentos normativos brasileiros na área de luminotécnica não dispõem de recomendações sobre a utilização adequada da iluminação natural e que as normas e posturas relativas à iluminação artificial não contemplam aspectos como a conservação de energia nas edificações. Porém, algumas iniciativas destacam-se nesse contexto, a partir de novas recomendações e normas como a NBR 15215 – Iluminação Natural (ABNT, 2005a; ABNT, 2005b; ABNT, 2005c; ABNT, 2005d) e os Requisitos Técnicos da Qualidade (RTQ) para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2010).

Segundo Lima & Amorim (2003), a simulação computacional pode ser uma forma de diminuir o tempo gasto com os cálculos e um recurso a mais para auxiliar na definição da proposta, uma vez que se pode reproduzir de forma experimental os efeitos da iluminação

natural de um ambiente, prevendo os níveis de iluminação resultantes e a forma de incidência da luz direta do Sol no ambiente, de modo a auxiliar no projeto de elementos de proteção como brises, prateleiras de luz, elementos vazados.

Dentre os trabalhos recentes produzidos no Brasil relacionados com à iluminação natural, no contexto da eficiência energética do ambiente construído e da avaliação de Códigos de Obras, podem ser citadas quatro dissertações de mestrado que serviram de apoio à esta pesquisa. A primeira foi realizada por Didoné (2009), na Universidade Federal de Santa Catarina e foi uma das primeiras dissertações nacionais a avaliar a iluminação natural através do *software* Daysim. A autora analisou a eficiência energética de ambientes de escritórios, em Florianópolis, a partir do aproveitamento da iluminação natural. A dissertação de Fernandes (2009), realizada na Universidade de Brasília, traz uma proposta de revisão do Código de Obras e Edificações do Distrito Federal para inserção de artigos relativos à eficiência energética e adequação climática. Outra dissertação realizada na Universidade de Brasília é a de Cintra (2011) que trata sobre a influência de proteções solares e a profundidade de penetração da iluminação natural em ambiente residencial, para subsidiar critérios de bonificação do RTQ-R. Foram realizadas simulações no *software* Daysim para 11 latitudes diferentes. A dissertação de Cunha (2011), desenvolvida na Universidade Federal de Minas Gerais, apresenta uma análise dos Códigos de Obras das capitais brasileiras em relação aos parâmetros de aprovação de projetos, incluídos dimensionamentos mínimos dos ambientes e das aberturas.

Todo ambiente interno de permanência prolongada necessita de contato com o exterior, possível através de aberturas como janelas, portas, elementos vazados. O uso das aberturas é fundamental, quando se deseja ter um ambiente com uso de luz natural. Apesar da existência de manuais, normas e recomendações para o projeto de aberturas, o Código de Obra municipal continua a ser o principal instrumento regulador do projeto de sistemas de iluminação natural, destacando-se que os Códigos de Obras brasileiros são baseados em suposições simplificadas e ultrapassadas e, no tocante ao conforto ambiental e economia de energia, não há revisões periódicas em seus artigos. Sendo assim, os avanços obtidos nas últimas décadas sobre iluminação natural, frequentemente, restringem-se ao meio acadêmico e aos profissionais especializados (AMARAL & PEREIRA, 1999).

Dessa forma, este trabalho tem como **objeto de estudo** o potencial de aproveitamento da luz natural na iluminação de espaços, considerando as dimensões mínimas de aberturas exigidas pelo Código de Obras da cidade de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971) para ambientes iluminados através de componentes de condução da luz.

Conforme a classificação de Baker, Fachioti e Steemers (1993), os elementos dos sistemas de iluminação natural podem ser classificados em dois grupos principais: componentes de condução da luz natural e componentes de passagem da luz natural. Os componentes de condução são espaços construídos que permitem a distribuição da luz natural. Os componentes de passagem são as janelas propriamente ditas, que permitem a penetração da iluminação de um espaço para outro. Neste trabalho, são estudados os ambientes residenciais iluminados através de componentes de condução de luz natural, mais precisamente a varanda e a circulação horizontal em edifícios multifamiliares. A varanda utilizada para iluminação dos ambientes social e íntimo, sala e quartos, e a circulação horizontal, para iluminação dos ambientes de serviço, cozinha, banheiro e quarto de empregados.

O **objetivo geral** do trabalho é verificar se os níveis de iluminação proporcionados por dimensões mínimas de aberturas, permitidas pelo Código de Obras da cidade de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971) para a iluminação de um ambiente interno através de componentes de condução da luz natural, atendem a valores de referência. Parâmetros dinâmicos de análise da iluminação natural, através de simulação computacional, serão adotados como referência.

Como **objetivos específicos** têm-se:

- a) Verificar a influência da orientação da abertura e da altura do pavimento na distribuição da luz natural e nos níveis de iluminância de um ambiente interno, em um cenário urbano de ocupação máxima;
- b) Analisar a influência de variações – transparência do peitoril, profundidade e fechamento lateral – do componente de condução da luz na iluminação natural do ambiente interno;
- c) Caracterizar as situações/modelos com maior e menor potencial de aproveitamento da luz natural.

# 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1. PROJETO DE ILUMINAÇÃO NATURAL

A iluminação natural é influenciada por inúmeras variáveis, tais como as condicionantes locais do clima, a localização geográfica, a orientação da abertura, a sazonalidade, a umidade do ar, a poluição do ar, entre outras que, por sua vez, estão ligadas direta ou indiretamente, às fontes de luz natural – a luz direta do Sol, a luz proveniente da abóbada celeste e a luz proveniente do entorno natural ou edificado (HOPKINSON, PETHERBRIDGE & LONGMORE, 1975; PEREIRA, 1995; VIANNA & GONÇALVES, 2007).

Pereira *et al.* (2005) afirmam que o arquiteto deve considerar a iluminação natural como um dos condicionantes do projeto arquitetônico por ela ser um elemento fundamental para a configuração estética dos ambientes, através da valorização formal resultante do contraste luz e sombra. A partir de resposta de 130 entrevistados, dentre profissionais, professores e estudantes de arquitetura, sobre a importância dada à iluminação natural na concepção projetual, os autores perceberam que as principais barreiras para sua ampla e correta utilização são: o desconhecimento de fontes de informação a respeito do tema e a deficiência na apropriação das ferramentas de apoio ao projeto.

Amorim (2007) *apud* Fernandes (2009) acrescenta que além da falta de conhecimento dos profissionais a respeito dos instrumentos para o projeto com o clima (carta solar, transferidores, etc), há ainda pouca informação sobre a disponibilidade da luz natural e restrição dessas informações à área acadêmica, bem como falta de legislação que estimule (oriente e exija) aos profissionais a criarem projetos que aproveitem a luz natural.

Para proporcionar uma iluminação agradável no ambiente interno, deve-se atentar para os efeitos direcionais resultantes da posição das janelas, para a quantidade de luz difusa inter-refletida e pelas intensidades luminosas relativas desses dois fatores (HOPKINSON, PETHERBRIDGE & LONGMORE, 1975).

Boyce (1998) comenta, a partir dos trabalhos de Begemann *et al.* (1994), que o padrão de distribuição da iluminação natural tem papel mais importante do que exatamente seus valores, uma vez observada a tendência dos usuários de acionar o sistema de iluminação artificial para uniformizar a luminância das superfícies em ambientes de trabalho com aberturas bem delimitadas. Já Lynes (1968) aponta que para ambientes residenciais, devido à atmosfera requerida pelos usuários, a distribuição da iluminação deve, preferencialmente, não

ser uniforme, mas devem ser proporcionados os valores mínimos da legislação em pelo menos metade da área do ambiente.

O conforto visual é um dos elementos mais importantes para o bem estar dos usuários e o aproveitamento da luz natural, assim como é determinante para a salubridade do espaço. Uma abordagem da iluminação natural que considere os aspectos fotométricos, psicológicos e fisiológicos pode atender melhor às necessidades humanas como a visibilidade, a realização das atividades, a saúde, a segurança, o conforto, a socialização, a comunicação, a percepção visual (KIM & KIM, 2010). Para a maior parte dos arquitetos, os benefícios psicológicos proporcionados por uma abertura, como a possibilidade de mudanças de foco e cenário, são os fatores determinantes para as decisões projetuais da relação entre o interior e o exterior (BRE, 1998 *apud* DAN, 2006).

Muneer *et al.* (2000) apontam as estratégias de projeto de um sistema de iluminação natural eficiente, abaixo indicadas:

- a) Alongar a forma do edifício, aumentando o perímetro da edificação e a área de aberturas pode melhorar o desempenho da iluminação natural;
- b) Quanto mais próxima do teto a locação da abertura, mais profunda pode ser a penetração da iluminação natural;
- c) A utilização de grandes áreas envidraçadas, ao invés de apenas diminuir o consumo energético do sistema de iluminação artificial, pode aumentar o consumo de energia do sistema de climatização;
- d) As reflexões internas da luz natural ajudam a aumentar o brilho do ambiente ao balancear os contrastes.
- e) Inclinar o teto a partir da área de abertura ajuda a aumentar ainda mais o brilho do teto, melhorando a uniformidade da distribuição da luz;
- f) Evitar a radiação solar direta na área de trabalho para reduzir a ocorrência de ofuscamento devido à grande diferença de brilho e contraste;
- g) Vegetação, cortinas e persianas ajudam a bloquear e/ou diminuir a incidência de raios solares e/ou a distribuir mais uniformemente a luz.

Leslie (2003) enumera algumas recomendações para a utilização da luz natural nos ambientes internos:

- a) Distribuir as áreas de trabalho na zona de iluminação natural: normalmente até 5,00 m de distância de uma janela lateral ou o pavimento superior quando há abertura zenital;

- b) Planta do edifício em forma retangular, com o eixo maior alinhado no sentido Leste-Oeste, para evitar aquecimento e aproveitar os melhores níveis de iluminância das fachadas Sul no hemisfério Sul e Norte no hemisfério Norte;
- c) Alocar as atividades que exigem maior acuidade visual junto ao perímetro do edifício, para aproveitar os maiores níveis de iluminância próximos às janelas;
- d) Quanto mais altas e próximas do teto forem as janelas, mais uniforme será a distribuição e maior será a penetração da luz no ambiente;
- e) Proporcionar a admissão da luz natural por mais de uma janela em paredes diferentes melhora a uniformidade dos níveis de iluminância.
- f) Controlar a entrada da radiação direta;
- g) Usar cores claras nas paredes interiores ajuda a diminuir o contraste de luminância entre a janela e as paredes adjacentes, melhorando o conforto visual;
- h) Dispor as áreas de trabalho e monitores de computadores e televisões perpendiculares à janela para reduzir a reflexão da luz nas telas e objetos.

A utilização de sistemas avançados de iluminação natural como prateleiras de luz, brises horizontais e vertical, poços e dutos de iluminação não é, necessariamente, requerida em edificações de uso residencial ou onde há baixa demanda de precisão visual. Esses sistemas mostram-se mais úteis quando há realização de atividades que exigem precisão visual e/ou controle do ambiente visual, em geometrias complexas com grandes profundidades e/ou obstrução das fachadas, e necessidade de condicionamento térmico (IEA, 2000).

O projeto de iluminação natural precisa levar em consideração uma boa iluminação no ambiente de trabalho e a garantia de um entorno visual seguro e confortável para a realização mais eficiente da tarefa visual, sendo necessária atenção à existência de obstruções externas, à geometria do espaço interno, à radiação direta, à disponibilidade de luz, à degradação dos materiais, à eliminação ou minimização dos problemas de ganho ou perda de calor, à iluminância adequada para a realização das tarefas, à boa distribuição da iluminação, à ausência de ofuscamento, aos contrastes adequados e bom padrão e direção das sombras.

## 1.2. FONTES DE LUZ NATURAL

Para Lam (1986), o projeto de iluminação natural consiste primeiramente no planejamento da relação geométrica dos elementos arquitetônicos e da fonte de luz, ao invés

da luz diretamente da fonte para o local ao qual se deseja iluminar, sendo necessário entender a luz natural e as suas formas de controle por reflexão, refração e transmissão.

A luz direta do Sol, devido à distância entre o Sol e a Terra (aproximadamente 150 milhões de quilômetros), pode ser considerada uma fonte de raios paralelos e apresenta nível de iluminação constante e extremamente elevado para uso direto nas atividades (60 a 110 klux no plano horizontal), sendo necessário levar em consideração o seu valor energético (luz e calor) (LAM, 1986; PEREIRA, 1993).

A cor da luz do Sol fora da atmosfera é substancialmente constante. O efeito da atmosfera na luz que atinge a superfície da Terra é menos previsível e depende tanto das condições climáticas quanto da posição aparente do Sol no céu. A luz solar é atenuada pela camada de ozônio e pela dispersão molecular, mesmo nos dias claros. Também é afetada pela variável concentração de gotículas de água, poeira, fumaça, sal e outras partículas carregadas pelo ar. Na prática, a cor da luz do Sol varia entre 4.000 e 12.000 K, porém, as mudanças da cor da luz natural são muito graduais e imperceptíveis para o olho humano (CIBSE, 1987). A Tabela 2 apresenta o valor da temperatura da cor de algumas fontes de luz.

Tabela 2 – Temperatura da cor de fontes de iluminação.

| <b>FONTE DE LUZ</b>  | <b>COR DA LUZ (K)</b> |
|--|-----------------------|
| Sol  | 4.000 – 5.500         |
| Céu claro  | 10.000 - 100.000      |
| Céu encoberto  | 4.500 – 7.000         |
| Global (céu claro + Sol)   | 5.000 – 7.000         |
| Temperatura mais observada   | 6.000                 |
| Recomendação da Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) para fotografia com Sol | 5.500                 |
| Recomendação da CIE e da The British Standards Institution (BSI) para luz do céu Norte | 6.000                 |
| Recomendação da CIE para a versão mais azul luz do céu Norte                           | 7.500                 |

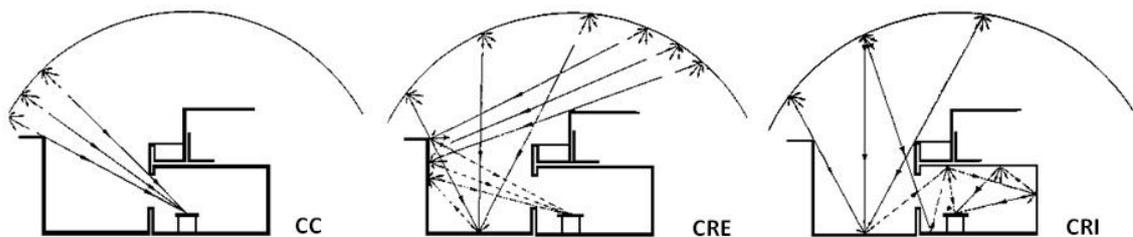
Fonte: Hopkinson, Petherbridge & Longmore (1975).

A luz da abóbada celeste é uma fonte superficial resultante dos fenômenos de refração e reflexão sofridos pela luz solar ao passar pela atmosfera. Sua iluminação é mais suave, apresenta pouca sombra e direcionamento da luz nulo, sendo mais apropriada para iluminação dos ambientes internos. Entre os fatores que alteram os níveis de iluminância apresentados por esse tipo de iluminação estão as condições atmosféricas: nebulosidade, poluição, etc. (PEREIRA, 1995; VIANNA & GONÇALVES, 2007).

No que diz respeito à iluminação natural indireta, que pode ser refletida pela superfície do solo, água, pela vegetação e pelas edificações do entorno, deve-se considerar sua importância como fonte de luz para aberturas que não estão voltadas para o Sol, além de atentar para as características de cor e textura do entorno.

A NBR 15215-3 (ABNT, 2005c) classifica as fontes de luz natural da seguinte forma: **Componente do Céu (CC)** – luz que alcança um ponto do ambiente interno proveniente diretamente do céu; **Componente Refletida Externa (CRE)** – luz que alcança um ponto do ambiente interno após ter refletido em uma superfície externa; **Componente Refletida Interna (CRI)** – luz que alcança um ponto do ambiente interno somente após ter sofrido uma ou mais reflexões nas superfícies internas. A Figura 3 ilustra as fontes de luz natural.

Figura 3 – Fontes de luz natural.



Fonte: Soteras (1985) apud ABNT (2005c).

Outro aspecto importante da luz natural é a eficiência luminosa, uma vez que as fontes de luz natural apresentam valores maiores em relação às lâmpadas comumente utilizadas nos sistemas de iluminação artificial. Pereira (1993) afirma, a partir disso, que em um ambiente onde é possível utilizar-se a luz natural, há potencial de redução da carga de refrigeração e de melhoria da qualidade do ambiente luminoso. Na Tabela 3, pode-se ver os valores da eficiência luminosa de algumas das principais fontes de iluminação disponíveis atualmente.

Tabela 3 – Eficiência luminosa de fontes de iluminação.

| FONTE DE LUZ                    | EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/W) |
|---------------------------------|----------------------------|
| SOL                             | 70 – 105                   |
| CÉU CLARO                       | 130                        |
| CÉU ENCOBERTO                   | 110                        |
| LUZ NATURAL GLOBAL              | 105                        |
| LÂMPADA INCANDESCENTE           | 15                         |
| LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA   | 57 – 72                    |
| LÂMPADA FLUORESCENTE TUBULAR T5 | 70 – 100                   |
| LED                             | 35 – 102                   |

Fonte: Adaptado de Mardaljevic, Hescong & Lee (2009); OSRAM (2013).

### 1.3. TIPOS DE CÉU

A quantidade de luz natural disponível para iluminação de ambientes internos depende da posição do Sol e de condições climáticas. A movimentação do Sol promove uma variação sistemática da disponibilidade de luz natural que também é condicionada pelo período do dia, período do ano e da latitude. A densidade e o movimento das nuvens também influenciam de forma inconstante e de curta duração (CIBSE, 1987). Para analisar a disponibilidade de luz natural, foram desenvolvidos padrões de céu definidos a partir das características de nebulosidade, luminosidade, etc (MUNEER *et al.*, 2000).

No padrão de **céu claro**, a superfície coberta pelas nuvens corresponde a menos de 1/3 da área. A baixa nebulosidade somada às reduzidas dimensões das partículas de água propicia a emergência apenas das ondas de luz de cor azul em direção à Terra. A porção mais escura do céu se apresenta a 90° do Sol e a mais brilhante, ao redor do Sol e nas regiões próximas à linha do horizonte. Há predomínio deste tipo de céu nas latitudes onde o clima é quente-seco (ABNT, 2005b; MASCARÓ, 1985; PEREIRA, 1995; VIANNA & GONÇALVES, 2007,).

O **céu encoberto** possui aproximadamente 2/3 da superfície coberta pelas nuvens. A abóbada apresenta cor cinza-claro e luminância da porção zenital três vezes maior que a porção próxima ao horizonte. É resultado da reflexão e refração da luz direta do Sol em grandes partículas de água em suspensão na atmosfera. Nas latitudes onde o clima é frio, há predomínio desse tipo de céu (ABNT, 2005b; MASCARÓ, 1985; PEREIRA, 1995; VIANNA & GONÇALVES, 2007).

Já o **céu parcialmente encoberto** é intermediário entre os céus claro e encoberto. A superfície encoberta por nuvens é entre 1/3 e 1/2 da área. Em qualquer ponto da abóbada, a

luminância será em função da altura solar, desconsiderando o Sol e sua auréola na distribuição de luminâncias. As análises de iluminação natural para este tipo de céu dependem do azimute, da altura e da declinação solar. É o céu típico das regiões de clima quente-úmido (ABNT, 2005b; MASCARÓ, 1985; PEREIRA, 1995; VIANNA & GONÇALVES, 2007).

Para a avaliação da iluminação natural a partir de simulações dinâmicas, esses três padrões de céu não são utilizados por não serem reais, pois eles apresentam condições uniformes, extremas e estáticas de céu. Nesse tipo de simulação, são adotados os modelos de céu de Perez *et al.* (1993) que se baseiam nos seguintes parâmetros:

- a) Índice de claridade do céu: determinado em função da radiação difusa horizontal, radiação normal direta e do ângulo zenital;
- b) Ângulo zenital;
- c) Índice de brilho do céu: determinado em função da radiação difusa horizontal, massa de ar óptica relativa e altitude solar;
- d) Vapor de água na atmosfera: determinado a partir da temperatura de orvalho.

Dessa forma, o tipo de céu utilizado em cada momento da simulação é diferente, representando mais fielmente as condições reais.

A geração dos modelos de céu do local onde se faz a simulação dinâmica através do *software* Daysim é realizada automaticamente após a importação do arquivo climático. Os dados de radiação direta e difusa são, primeiramente, convertidos em dados de luminância e depois em modelos de distribuição luminosa da abóbada celeste para todas as condições de céu do ano (REINHART, 2010).

#### 1.4. PARÂMETROS DE ANÁLISE DA ILUMINAÇÃO NATURAL

Os principais parâmetros de análise da eficiência da luz natural que têm sido aplicados em estudos recentes são as medidas dinâmicas de Autonomia da Luz do Natural – ALN (Daylight Autonomy – DA) e Iluminância Natural Útil – INU (Useful Daylight Illuminance – UDI).

As medidas dinâmicas da iluminação natural baseiam-se em dados de radiação solar anual para um local específico, oriundos de um arquivo climático anual, como o TRY – Test Reference Year (ano climático de referência), gerando uma série de dados de luminâncias e iluminâncias dentro da edificação. A principal vantagem das medidas de desempenho dinâmico de iluminação natural em comparação com as medidas estáticas é que elas

consideram a quantidade e a natureza das variações diárias e sazonais da iluminação natural (ALBUQUERQUE & AMORIM, 2012).

A **ALN** é uma medida dinâmica que corresponde à porcentagem de horas (do ambiente ocupado) em que a iluminância no plano de trabalho atinge um valor estipulado como padrão para as atividades do ambiente, possibilitando autonomia da iluminação natural em relação à luz artificial. Porém, esta medida não contabiliza os valores inferiores ao estipulado (MARDALJEVIC, REINHART & ROGERS, 2006). Como apontam Matos *et al.* (2007), para uma análise a partir dos valores de ALN, maiores valores não significam a garantia de economia de energia, pois para a avaliação da ALN, o sistema de iluminação artificial e o tipo de controle não são levados em consideração. Esse parâmetro não permite a identificação das situações onde há níveis de iluminação excessivos, que podem provocar desconforto visual e/ou térmico.

A **INU** é outra medida dinâmica, que surgiu como alternativa à ALN, a qual corresponde à porcentagem de horas, em um ano, em que a iluminância no plano de trabalho atinge valores dentro do intervalo de aproveitamento da luz natural, de 100 a 2000 lux. Esse intervalo deve-se às seguintes considerações: o limite inferior de 100 lux possibilita a iluminação de tarefas de baixa complexidade ou ainda, a complementação da mesma com luz artificial, enquanto os níveis acima de 2000 lux devem ser evitados, pois podem gerar desconforto visual e térmico. Esses valores foram estabelecidos a partir de entrevistas com usuários de salas de escritório com aberturas com proteção solar (MARDALJEVIC & NABIL, 2005). Reinhart & Weissman (2012) comentam que esse parâmetro de análise não se restringe apenas a luz natural, pois visa combinar a disponibilidade da luz, o conforto visual e as preocupações energéticas.

Nos estudos realizados posteriormente, em avaliação de ambientes residenciais, os valores máximos do intervalo de conforto têm sido modificados a partir do entendimento de que as atividades desenvolvidas pelos ocupantes de uma residência têm exigências visuais menos rigorosas. Mardaljevic, Heschong & Lee (2009) definem os valores entre 100 lux e 2000 ou 2500 lux. Em estudos mais recente, Mardaljevic *et al.* (2011) e Mardaljevic *et al.* (2012) estabelecem valores entre 100 lux e 3000 lux.

Para as análises da iluminação natural a partir da INU, foi estabelecido por Mardaljevic & Nabil (2005) um esquema para caracterizar os pontos da malha da área de trabalho de um ambiente interno em função dos valores de iluminância da luz natural:

- a) INU-insuficiente (INU-i): Valores abaixo de 100 lux. Há necessidade de utilização de iluminação artificial;

- b) INU-suplementar (INU-s): Valores entre 100 e 500 lux. A iluminação natural pode ser considerada suficiente sem a utilização do sistema de iluminação artificial ou pode haver a necessidade da iluminação artificial para complementação;
- c) INU-autônoma (INU-a): Valores entre 500 e 2000 ou 2500 ou 3000 lux. São valores desejáveis ou aceitáveis. A iluminação natural é suficiente.
- d) INU-excessiva (INU-e): Valores acima de 2000 ou 2500 ou 3000 lux. Pode haver desconforto térmico e/ou visual.

### 1.5. ADMISSÃO DA ILUMINAÇÃO

A luz natural pode ser admitida, nos ambientes internos, através de aberturas para o exterior (laterais ou zenitais) ou através de outro ambiente, como varandas, corredores, galerias, pátios, átrios, poços de luz, dutos de Sol. Segundo a definição do RTQ-R (BRASIL, 2010), abertura é “toda área da envoltória do edifício, aberta ou com fechamento translúcido ou transparente, que permita a entrada da luz e/ou ar”.

A classificação do sistema de iluminação natural de Baker, Fanchiotti e Steemers (1993) é adotada também pela NBR 15215-1 (ABNT, 2005a), assim, as aberturas em material transparente ou translúcido são denominadas **componentes de passagem da luz**. Sua função é permitir que a luz natural seja admitida e são divididas em:

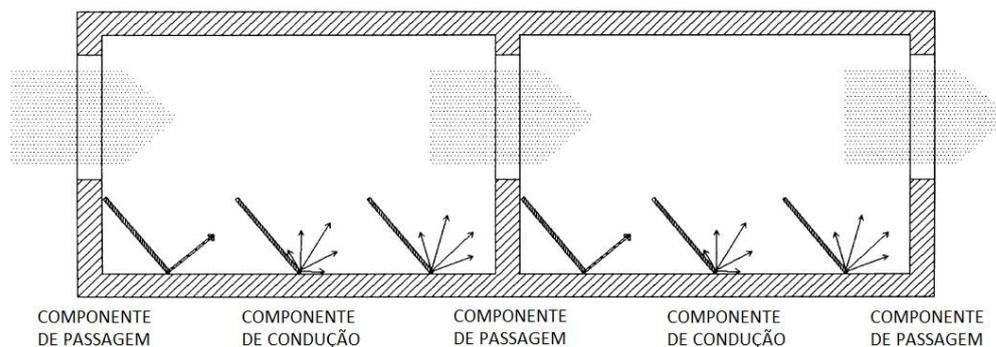
- a) Global: quando envolve total ou parcialmente o ambiente iluminado;
- b) Lateral: quando situada em fechamento vertical interno ou externo;
- c) Zenital: quando situada em fechamento horizontal interno ou externo;

E os **componentes de condução da luz** são espaços que guiam e/ou distribuem a luz natural para o interior da edificação e estão divididos em dois grupos:

- a) Espaço luminoso intermediário: quando faz parte do perímetro da edificação e serve a compartimentos contíguos;
- b) Espaço luminoso interno: quando não há acesso direto ao exterior e serve a compartimentos específicos.

Serra (1998) aponta que o sistema de iluminação natural de um edifício pode ser uma complexa combinação desses componentes, que tem como objetivo proporcionar uma iluminação natural eficiente em todos os ambientes do edifício. A Figura 4 apresenta o esquema elaborado pelo autor de um sistema de iluminação natural.

Figura 4 – Sistema de iluminação natural.



Fonte: Traduzido de Serra (1998).

A penetração da iluminação natural em um ambiente interno depende de algumas variáveis, tais como: a profundidade do ambiente, a altura, a refletância das paredes, a orientação, forma e tamanho das aberturas e propriedades do material – transparente ou translucido (CAPELUTO, 2002; SERRA, 1998).

#### 1.5.1. Componentes de Passagem da Luz Natural – Abertura Lateral

Pode-se entender a janela como um elemento que possibilita a relação entre o interior e o exterior, sendo essa relação caracterizada por várias funções, a saber: o contato visual, a iluminação e a ventilação naturais, os isolamentos acústico e térmico e a segurança patrimonial e pessoal. A limitação do tamanho da abertura pode ser condicionada por uma dessas funções ou associações delas, influenciando diretamente as demais demandas.

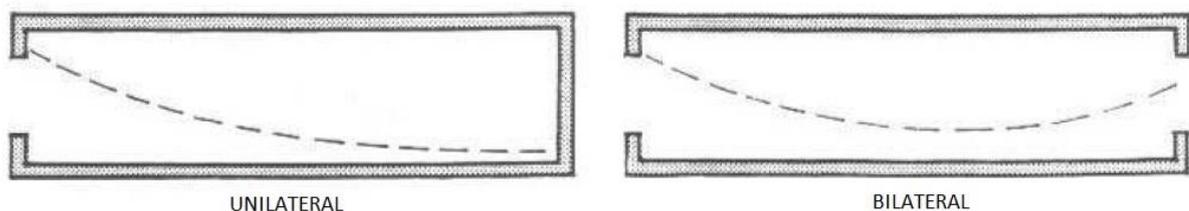
Por razão da quantidade de condicionantes do projeto de uma abertura, além dos condicionantes da iluminação natural, surgem muitos dos problemas da iluminação natural nos espaços internos. Ghisi, Tinker & Ibrahim (2005) simularam modelos com aberturas mínimas recomendadas para garantir vista para o exterior e para permitir melhor aproveitamento da iluminação natural. Os resultados encontrados apontam para um superdimensionamento das aberturas quando se considera a garantia de vista para o exterior se comparado com as dimensões necessárias para garantir eficiência energética. Também constataram que os ambientes de pouca profundidade não são os mais adequados quando se pretende baixo consumo energético no ambiente construído. Os autores avaliaram o consumo de energia elétrica dos modelos, no qual são considerados, além dos sistemas passivos de conforto ambiental, o uso de ar condicionado e iluminação artificial.

A iluminação através de aberturas laterais é predominante, pois esse tipo de abertura oferece também visão para o exterior e ventilação. Seu uso é recomendado nas localidades com o ângulo solar alto (fachadas Norte e Sul em localidades próximas a Linha do Equador). A disponibilidade de iluminação natural pode ser dificultada devido às obstruções externas do entorno e/ou à geometria do próprio edifício, que podem se apresentar como barreira ao Sol, além de bloquear a ventilação natural. Porém, essas obstruções podem ser positivas, quando se potencializa o aproveitamento da luz natural através de reflexões e quando há a necessidade de sombrear as aberturas. Em edifícios de vários pavimentos, apenas nos andares mais altos, é possível utilizar aberturas zenitais ou ter melhor aproveitamento da iluminação por átrios, dessa forma, as aberturas laterais são mais características nesses edifícios (CAPELUTO, 2002; FROTA & SCHIFFER, 2001; LAM, 1986).

Hopkinson, Petherbridge & Longmore (1975) afirmam que, em um edifício, os efeitos mais atraentes ocorrem sempre que a maior parte da luz pareça provir apenas de um dos lados de uma divisão.

Pereira (1993) descreve que ambientes iluminados lateralmente apresentam uma direção da luz natural predominantemente de cima para baixo, proporcionando uma distribuição da iluminação interna não uniforme. Assim, explica que as áreas próximas à janela são mais iluminadas, frequentemente de forma excessiva, e as áreas mais afastadas ficam mais escuras, como pode-se notar na Figura 5. Segundo Boyce (1998), a iluminação através de janelas pode proporcionar interiores bem iluminados, nos quais há bom desempenho visual, com boa reprodução de cores e visualização de detalhes, porém pode também propiciar ofuscamento e reflexo em telas de computadores, televisões, etc.

Figura 5 – Distribuição da iluminação natural admitida através de aberturas laterais.



Fonte: Lam (1986).

Quanto à profundidade (P) de um ambiente iluminado por uma abertura lateral, para a CIBSE – The Chartered Institution of Building Services Engineers (1987), a iluminação

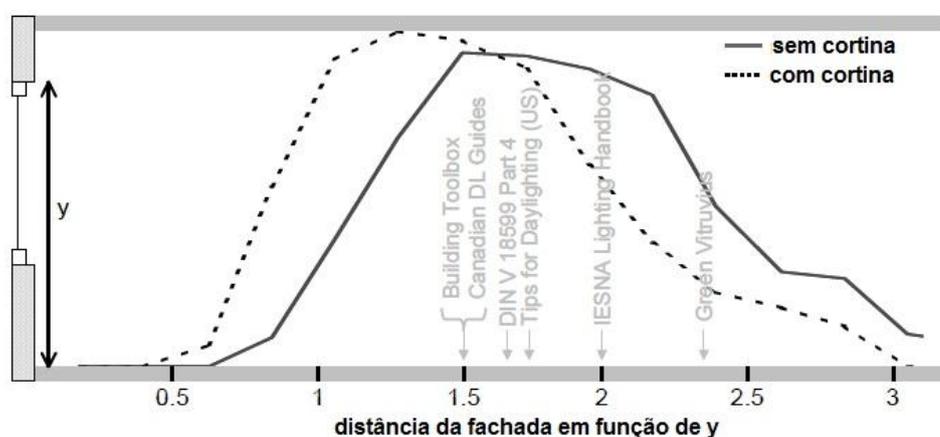
natural só é capaz de ser suficiente até 2 ou 2,5 vezes à altura desta janela. Ou, mais precisamente, em função dos valores de largura (L), altura (H) e refletância da parede de fundo ( $R_f$ ), de acordo com a seguinte expressão:

$$[(P/L) + (P/H)] \leq (2/1 - R_f)$$

Já Bahia *et al.* (1997) afirmam que a dimensão máxima de profundidade de um ambiente interno possível de ser iluminada naturalmente para os compartimentos de permanência prolongada das edificações residenciais corresponde a 2,5 vezes a altura do ponto mais alto do vão de iluminação do compartimento. Tal afirmação mostra que a disponibilidade e distribuição da iluminação natural no espaço interno estão diretamente relacionadas com a esquadria, sua posição, formato e tamanho.

Reinhart (2005) avalia a influência da altura da verga da janela na profundidade da penetração da luz natural para quatro orientações em cinco cidades nos Estados Unidos e duas no Canadá, através de simulação computacional, com as seguintes variáveis: transmitância do vidro, peitoril, ambiente escolar e escritório, valores de ALN e uso de cortina veneziana ou proteção solar externa. Estas variáveis geraram 1280 combinações e os resultados foram tratados em função das diferentes variáveis, além de um gráfico geral comparando todas as combinações, mostrado na Figura 6. Percebe-se que a maior parte da amostra apresenta valores entre 1,5 e 2 vezes a altura da verga. Os modelos que apresentam valores menores que 1,5 e maiores que 2,5 podem ser explicados por serem situações menos recorrentes no dia-a-dia, como ambientes muito enclausurados e com grande exigência visual e ambientes muito expostos com baixa exigência visual, respectivamente.

Figura 6 – Relação da profundidade de penetração da luz natural em relação à altura da verga da janela. Em tom mais claro, valores encontrados em manuais técnicos.



Fonte: Traduzido de Reinhart (2005).

As principais variáveis da abertura que influenciam a iluminação natural de um ambiente interno são a dimensão, a localização da abertura na parede e sua forma. Bittencourt *et al.* (1995) realizaram um estudo para a condição típica de inverno na cidade de Maceió, considerando o céu encoberto com 20.000 lux, para avaliar os efeitos das condições de localização, forma e dimensão de aberturas envidraçadas para salas de aula. Os resultados encontrados informam que a dimensão é o fator que exerce maior influência nos níveis de iluminação natural, particularmente nas regiões mais próximas às janelas, e que a localização e forma da abertura influenciam na distribuição do fluxo luminoso: maior uniformidade pode ser conseguida com a distribuição da área transparente em várias aberturas, quando possível, ou com a centralização de uma única abertura; as formas quadrada e vertical apresentam intensidade e distribuição semelhantes, enquanto as aberturas horizontais apresentem distribuição mais uniforme, principalmente se estiverem localizadas nas partes mais altas do ambiente.

A iluminação interior, tanto em quantidade como em qualidade, é uma função não apenas do tamanho, formato e colocação das janelas, mas também das propriedades reflexivas das superfícies interiores, apresentando todos esses elementos uma significativa contribuição para a iluminação total do compartimento (HOPKINSON, PETHERBRIDGE & LONGMORE, 1975).

#### 1.5.2. Componentes de Condução da Luz Natural – Espaço Intermediário

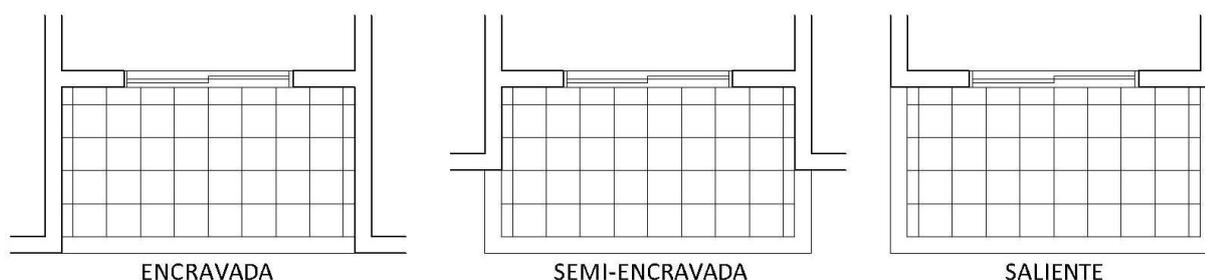
A estratégia da iluminação de um ambiente através de outro ambiente, assim como a utilização de aberturas laterais têm vantagens e desvantagens. Os principais exemplos encontrados são pátios, galerias, varandas, jardins de inverno, pérgulas, além de algumas soluções aceitas pela legislação de muitos municípios brasileiros, como a cozinha iluminada através da área de serviço, o banheiro iluminado através de outro banheiro ou através da área de serviço (ARACAJU, 1966; CAXIAS DO SUL, 2010; JOÃO PESSOA, 2001; LAGES, 1965; SALVADOR, 1988).

Os componentes de condução, geralmente, apresentam altura de um ou dois pavimentos e profundidade entre 1,00 e 5,00 m e localizam-se no perímetro do edifício, entre o exterior e o ambiente interno, servindo de filtro entre as condições externas e internas, protegendo o ambiente interno da radiação direta do Sol, da chuva e direcionando e distribuindo a iluminação natural do exterior para o ambiente interno (SERRA, 1998).

Maragno & Coch (2011) definem a varanda como um espaço que protege das radiações diretas do Sol e que apresentam limites verticais com diferentes graus de materialidade entre si e os espaços contíguos. Os limites físicos com o exterior costumam ser o piso, uma franja de penumbra, a sombra produzida pela coberta ou a própria coberta.

Nos edifícios multifamiliares brasileiros, a utilização de varandas é justificada mais pela intenção de criação de um espaço intermediário do que pela proteção dos espaços interiores. As varandas são classificadas em função de algumas características, tais como: a distribuição em planta, em fachada, a geometria, etc. já em relação ao “encaixe” no volume do edifício, podem ser consideradas como encravadas, semi-encravadas ou salientes (MARAGNO, 2010). A Figura 7 apresenta a planta baixa desses três tipos de varanda.

Figura 7 – Tipos de varandas.



Fonte: Baseado em Mascaró (2004).

A variável que mais influencia a função da varanda é a relação altura *versus* profundidade: quanto mais profunda, encravada, extensa em relação à fachada e dotada de mais apoios, maior será sua eficiência no bloqueio das radiações solares (MARAGNO & COCH, 2011). Porém, Bahia *et al.* (1997) consideram que, para iluminação e ventilação naturais, a profundidade coberta das varandas não pode ser maior do que 2,00 m.

O estudo desenvolvido por França, Carvalho & Cabús (2009) tem como foco a influência da varanda na iluminação natural da sala de um apartamento com abertura orientada para Sudeste na cidade de Maceió, com as condições de céu parcialmente nublado e de céu encoberto. Foram confrontados os valores de iluminância encontrados em dois pontos definidos para o modelo sem varanda e o modelo com varanda, a partir de simulação computacional. Percebeu-se uma diminuição média de 38% nos valores de iluminância nos pontos do modelo com varanda na condição de céu parcialmente encoberto e para a condição de céu encoberto, foi observada a diferença média de 107%.

Cintra (2011) analisou, através de simulação computacional, a iluminação natural de um ambiente interno para as seguintes cidades brasileiras: São Luís, Natal, Maceió, Salvador, Brasília, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre. Foram comparados modelos com e sem proteção solar, incluindo um modelo de varanda de 1,50 m de profundidade como um tipo de proteção solar. As conclusões foram de que há uma variação de aproximadamente 30% na profundidade de alcance da iluminação natural entre o ambiente com abertura sem proteção solar (1,80 m) e o ambiente com a varanda contígua (1,23 m). Também foi percebido que a orientação da abertura, sombreada ou não, influencia de forma significativa na profundidade máxima iluminada naturalmente, em outras palavras: uma abertura na fachada Norte permite uma maior profundidade do ambiente, enquanto na fachada Sul o comportamento é oposto e as fachadas Leste e Oeste apresentam valores intermediários.

## 1.6. SOMBREAMENTO

Bahia *et al.* (1997) comentam que, no Brasil, há grande diversidade climática, dessa maneira, muitas vezes, é necessária a introdução de elementos como beirais, varandas, brises, cobogós para reduzir a carga térmica do exterior no ambiente interno. É preciso atenção nos projetos desses elementos para que não haja prejuízo da ventilação e iluminação naturais.

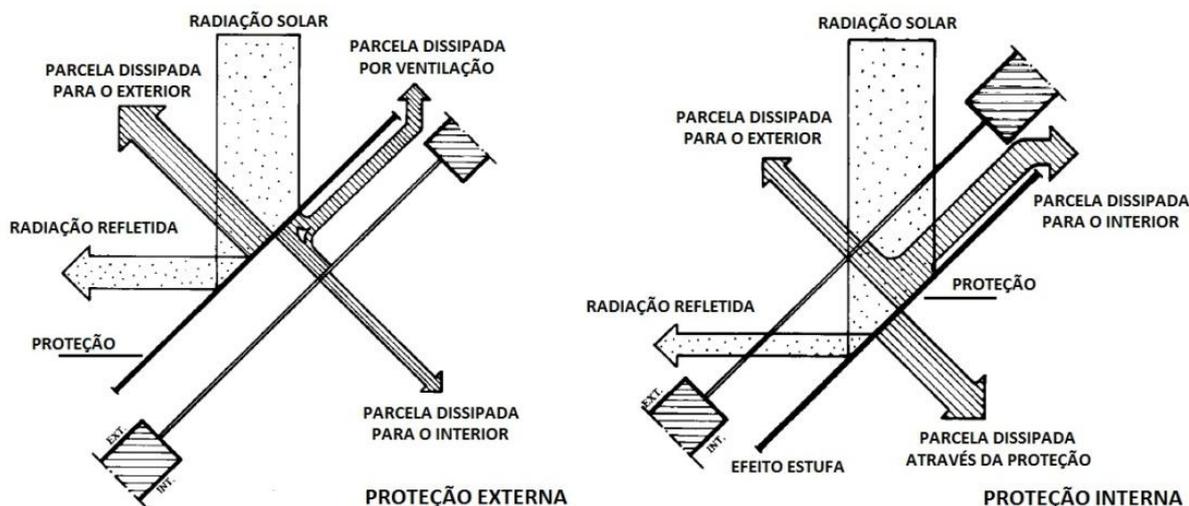
De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005e), a cidade de João Pessoa está inserida na Zona Bioclimática 8, dessa forma, o sombreamento das aberturas e da envoltória do edifício é uma das estratégias recomendadas para a adequação bioclimática da edificação.

Os elementos de proteção solar podem ser classificados como externos, internos, móveis e fixos; e suas funções podem ser de bloqueio da incidência solar direta (marquise, varanda, beiral, cortinas black-out, persiana), bloqueio da radiação solar direta e reflexão para o interior (brises horizontais ou verticais, prateleira de luz), filtração da entrada da radiação solar direta (elemento vazado, vidro translúcido, cortina, veneziana).

A proteção solar dos elementos transparentes ou translúcidos da envoltória pode ser externa e/ou interna e quando esses elementos são executados em vidro duplo, é possível que a proteção esteja localizada entre os dois vidros. Frequentemente, a proteção externa é mais eficiente em relação à proteção interna, já que a radiação solar é bloqueada antes de penetrar o ambiente interno através do material. Porém, devido à localização, à função, à orientação e às especificidades de cada edificação e/ou ambiente interno, a proteção interna pode se

apresentar mais adequada (FROTA & SCHIFFER, 2001). A Figura 8 apresenta o esquema de dois tipos de proteção solar de elementos transparentes ou translúcidos.

Figura 8 – Esquema de dois casos de proteção solar.

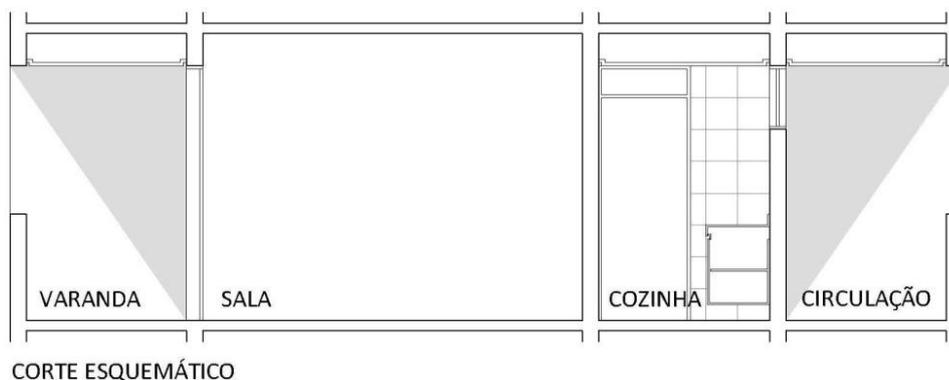


Fonte: Frota & Schiffer (2001).

A associação de elementos diferentes pode proporcionar melhores efeitos. Dessa forma, Maragno & Coch (2011) apontam que as varandas funcionam como protetores solares horizontais fixos e, nas varandas encravadas, as paredes laterais funcionam como protetores verticais, criando um espaço habitável, o qual permite o uso da transparência através do sombreamento das superfícies envidraçadas.

Mascaró (2004) aponta que há três tipos básicos de corredores para uso comum em edifícios de vários pavimentos: os laterais abertos, os laterais fechados e os centrais. Os laterais abertos são mais indicados e econômicos para edifícios de alturas moderadas e em climas quentes ou subtropicais. As principais vantagens dos corredores laterais abertos são permitir a ventilação cruzada e o sombreamento. A Figura 9 ilustra a possibilidade de sombreamento proporcionada por componentes de condução (varanda e circulação) em uma unidade habitacional.

Figura 9 – Corte esquemático de um pavimento tipo com varanda e circulação sombreando as paredes da unidade habitacional.



Fonte: Elaboração própria.

## 1.7. LEGISLAÇÃO

A legislação é o instrumento que permite controle e fiscalização das construções, visando à qualidade do espaço construído. As normas da Agência Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fazem parte dessa legislação. Porém, nos municípios, o Código de Obras é o principal e/ou único instrumento de controle dos projetos e podem muitas vezes ter desacordos com as normas e com os avanços técnico-científicos.

Julian (1998) aponta que a maior parte das legislações que regulam os tamanhos das aberturas foi elaborada a partir de critérios de ventilação natural, como a taxa de renovação de ar. Porém, uma abertura adequada à ventilação natural pode apresentar insuficiência ou excesso de luz natural. Sendo assim, é necessária a atualização da legislação para que a iluminação natural também seja garantida.

Outro entrave existente é o caráter recomendatório dos critérios e parâmetros adotados nas normas técnicas, que apresentam-se como um manual de boas práticas e não uma lista de requisitos técnicos a serem cumpridos (BOUBEKRI, 2004; JULIAN, 1998).

Boubekri (2004) analisa a legislação de alguns países a partir de padrões de iluminância, de Fator de Luz do Dia (FLD), da relação entre as áreas de janela e de piso e/ou parede e de zoneamento solar. A respeito dos padrões de iluminância, as legislações dos Estados Unidos, do Canadá, da França e da Alemanha definem valores mínimos que devem ser atendidos para cada tipo de atividade visual, semelhantemente a NBR 5413 (ABNT, 1992a). O padrão de Fator de Luz do Dia (FLD), porcentagem da iluminância horizontal

interna em relação à iluminância externa, é analisado na legislação da França e do Reino Unido que ainda apresenta o padrão de componente celeste vertical.

No Reino Unido, é utilizada a relação entre as áreas de janela e de parede externa, sendo exigidos 20% em salas com menos de 8 m de profundidade, 35% para escritórios e salas com mais de 14 m de profundidade e 25% em edifícios institucionais. A legislação alemã leva em conta a distância entre os edifícios, pé direito, largura, profundidade do ambiente para definir a área de janela. No Japão, são exigidos 14% da área de piso para residência e entre 20% e 40% para os demais edifícios de uso contínuo; na Austrália, 10% e, nos EUA, 8%, sendo permitidas aberturas para pátios e jardins (BOUBEKRI, 2004).

As leis de regulamentação holandesas determinam o tamanho das janelas em função do ângulo de incidência luminosa, pois quanto mais próximas e mais altas forem as edificações vizinhas, e maior e mais inclinado o ângulo de incidência luminosa, tanto menos será a quantidade de luz incidente na edificação. Dessa forma, quanto maior for o ângulo de incidência da luz, tanto maior deverão ser as janelas (NEUFERT, 2005).

Com o objetivo de desenvolver uma ferramenta para analisar o atendimento dos projetos aos requisitos normativos de iluminação natural, Stewart (2008) analisou a legislação da Nova Zelândia, que exige para edificações residenciais o nível de iluminância mínimo de 30 lux para 75% do ano padrão entre as 8h e 17h. A norma adota a relação entre as áreas de janela e de piso, sendo exigidos 10%.

Em Hong Kong, China, o padrão adotado é a relação entre as áreas de janela e de piso, sendo exigido o valor de 10%. Esses padrão e valor foram desenvolvidos e exigidos, primeiramente, no Reino Unido no final do século XIX (NG, 2003).

Siem & Sosa (2001) ao analisarem quatro normas venezuelanas quanto aos critérios de iluminação para residências, identificaram que há a exigência de uma área de janela de 10% da área de piso do ambiente, sem considerar as particularidades dos ambientes e das atividades em relação a contraste, ofuscamento, uniformidade da distribuição.

A Tabela 4 apresenta um quadro-resumo da legislação dos países estudados.

Tabela 4 – Padrões adotados em diferentes países.

| LOCAL             | PADRÕES   | VALORES                        | FONTE              |
|-------------------|---|--------------------------------|--------------------|
| ALEMANHA          | 1. Iluminância; 2. Área de janela em função de obstáculo externo, pé direito, largura e profundidade do ambiente. | 1. Mínimo: 15 lux; 2. Variados | Boubekri (2004)    |
| AUSTRÁLIA         | Área de janela/área de piso.  | 10%                            | Boubekri (2004)    |
| CANADÁ            | Valores de iluminância.   | Mínimo: 200 lux                | Boubekri (2004)    |
| EUA               | Valores de iluminância.   | Mínimo: 65 lux                 | Boubekri (2004)    |
| FRANÇA            | 1. Valores de iluminância; 2. FLD.  | 1. Mínimo: 40 lux; 2. 1,5%     | Boubekri (2004)    |
| HOLANDA           | Ângulo de incidência luminosa.  | Variados                       | Neufert (2005)     |
| HONG KONG (CHINA) | Área de janela/área de piso.  | 10%                            | Ng (2003)          |
| JAPÃO             | Área de janela/área de piso.  | 10%                            | Boubekri (2004)    |
| NOVA ZELÂNDIA     | 1. Iluminância; 2. Área de janela/área de piso.   | 1. Mínimo: 30 lux; 2. 10%      | Stewart (2008)     |
| REINO UNIDO       | 1. FLD; 2. Componente celeste vertical; 3. Área de janela/área de piso.   | 1. 2%; 2. 27%; 3. 20%          | Boubekri (2004)    |
| VENEZUELA         | Área de janela/área de piso.  | 10%                            | Siem & Sosa (2001) |

Fonte: Elaboração própria.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a principal produtora de normativas de qualidade para a construção civil. A NBR 5413 – Iluminância de Interiores (ABNT, 1992a) estabelece valores de iluminância mínimos para iluminação artificial em ambientes internos. É necessário avaliar três fatores para determinar a iluminância adequada para o ambiente: idade do usuário, velocidade e precisão da tarefa e refletância no fundo da tarefa. A partir desses fatores, para o uso residencial, deve-se considerar o valor médio recomendado pela norma, descrito na Tabela 5.

Tabela 5 – Iluminâncias para residência.

| AMBIENTE                          | TIPO DE ILUMINAÇÃO | MÍNIMO  | MÉDIO   | MÁXIMO  |
|-----------------------------------|--------------------|---------|---------|---------|
| SALA                              | Geral              | 100 lux | 150 lux | 200 lux |
|                                   | Local              | 300 lux | 500 lux | 750 lux |
| COZINHA                           | Geral              | 100 lux | 150 lux | 200 lux |
|                                   | Local              | 200 lux | 300 lux | 500 lux |
| QUARTO                            | Geral              | 100 lux | 150 lux | 200 lux |
|                                   | Local              | 200 lux | 300 lux | 500 lux |
| HALL, ESCADA<br>DESPENSA, GARAGEM | Geral              | 75 lux  | 100 lux | 150 lux |
|                                   | Local              | 200 lux | 300 lux | 500 lux |
| BANHEIRO                          | Geral              | 100 lux | 150 lux | 200 lux |
|                                   | Local              | 200 lux | 300 lux | 500 lux |

Fonte: NBR 5413, ABNT, 1992a.

Há a exigência da medição da iluminância no campo de trabalho que, quando não definido, é entendido como um plano horizontal a 0,75 m do piso e recomenda-se que a iluminância em qualquer ponto do campo de trabalho não seja inferior a 70% da iluminância média determinada segundo a NBR 5382 (ABNT, 1985).

Outro instrumento brasileiro é o Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2010), que permite classificar as edificações quanto à sua eficiência energética; dessa forma, os padrões adotados em cada critério de análise são exigências e não recomendações como na NBR 5413 (ABNT, 1992a). Assim sendo, para habitações de classificação nível A da envoltória, é adotada a relação mínima de abertura entre a área de piso e de janela de 1/8 para ambientes de uso prolongado e 1/10 para ambientes de uso eventual. Caso essas exigências não sejam atendidas, o nível máximo de classificação da envoltória conseguido por essas habitações é B.

Segundo a NBR 12286 (ABNT, 1992b) o Código de Obras é a “lei municipal que disciplina, dentro dos limites do município, toda e qualquer construção, reforma e ampliação de edificações, bem como sua utilização, visando ao atendimento de padrões de segurança, higiene, salubridade e conforto”. Fernandes (2009) aponta que o código de obras deve ser utilizado como meio de controle da atividade da construção civil que é empreendida não só com o auxílio do conhecimento técnico de profissionais de arquitetura e engenharia, mas também é realizada através da autoconstrução.

Os Códigos de Obras, no Brasil, existem desde o século XX. Inicialmente, foram influenciados pelas ideias higienistas presentes no século XIX devido à grande expansão das cidades. Em seguida, predominaram as estratégias de controle da edificação, com o objetivo de obter maior lucro sobre a construção. Esses dois critérios podem ser percebidos até hoje, nas raras revisões pelas quais passa essa legislação. Ora os critérios de conforto e habitabilidade são priorizados, devido à influência dos arquitetos e outros técnicos, ora os critérios de exploração máxima do potencial construtivo, defendidos pelos construtores e incorporadores, são priorizados pelos legisladores (CUNHA, 2011; SEGAWA, 2003).

Em relação à iluminação natural e à insolação em edificações residenciais, Bahia *et al.* (1997) recomendam alguns critérios para elaboração de um Código de Obras:

- a) Orientação correta da construção e das aberturas de acordo com as particularidades locais;
- b) Utilização da iluminação e da ventilação naturais sempre que possível;
- c) Assegurar níveis suficientes de iluminação nos ambientes internos;
- d) Previsão de proteção solar externa para as aberturas;

- e) As aberturas dos ambientes internos devem estar afastadas dos limites do terreno;
- f) A profundidade do ambiente interno deve ser definida em função do alcance da iluminação natural;
- g) Os poços de iluminação e ventilação devem ter suas dimensões de altura e largura definidas em função da trajetória solar e as paredes devem ser claras;
- h) A área de abertura para iluminação e ventilação de um ambiente interno deve ser função de fração da área de piso.

Laranja, Gazzaneo & Cabús (2009) analisaram os Códigos de Obras das seguintes capitais brasileiras: Vitória, Curitiba, Fortaleza, Maceió, São Paulo, Florianópolis e Porto Alegre. Foi constatado que os padrões mais utilizados que influenciam a iluminação natural no ambiente interno são as áreas mínimas de aberturas em função da área do piso e a profundidade do compartimento em função da altura ou largura do ambiente. Na maior parte das cidades, são desconsideradas as características locais de clima, da abóbada celeste e trajetória solar e a influência do entorno construído e não há limite máximo de abertura.

Na Tabela 6, estão apresentados os padrões e os valores exigidos em algumas cidades brasileiras inseridas nas duas Zonas Bioclimáticas Brasileiras (ZBB) opostas: ZB1 e ZB8 (ABNT, 2005e). Foi selecionada uma cidade de cada Unidade Federativa. A quantidade de cidades inseridas no ZB1 é significativamente menor que a quantidade de cidades inseridas no ZB8, dessa forma, a capital administrativa foi o critério de seleção apenas para as cidades do ZB8.

Tabela 6 – Padrões adotados em cidades brasileiras inseridas no ZB1 e ZB8.

| ZBB | UF/CIDADE/FONTE                                | PADRÕES   | RECOMENDAÇÕES/EXIGÊNCIAS  |
|-----|--|---|---|
| ZB1 | MG – Poços de Caldas                           | Código de Obras em fase de discussão.   |   |
| ZB1 | PR – Curitiba (CURITIBA, 2007)                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente.</li> </ol>                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/6 para sala e quarto e 1/8 para cozinha e banheiro. 1/8 para sala, cozinha e banheiro e 1/6 para quarto em habitação popular. “Tolerada” abertura zenital no banheiro;</li> <li>2. 3x o pé direito.</li> </ol>  |
| ZB1 | RS – Caxias do Sul (CAXIAS DO SUL, 2010)       | Área de janela/área de piso.  | 1/7 para todos os ambientes. Cozinhas e lavabos podem ser iluminados através de área de serviço, desde que haja o somatório das áreas e a distância entre as aberturas seja de até 2,00 m.  |
| ZB1 | SC – Lages (LAGES, 1965)                       | Área de janela/área de piso.  | 1/6 (quarto), 1/8 (sala e cozinha), 1/10 (banheiro) quando externas; 1/5, 1/6, 1/8 quando houver espaço intermediário de até 3 m.   |
| ZB1 | SP – Campos do Jordão (CAMPOS DO JORDÃO, 1978) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente;</li> <li>3. Área mínima.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/8 para todos os ambientes, 1/6 se houver espaço intermediário maior que 1,00 m e menor que 2,50 m;</li> <li>2. 3x altura da verga;</li> <li>3. 1,20 m<sup>2</sup> para quarto, sala e cozinha e 0,60 m<sup>2</sup> para banheiro.</li> </ol>  |
| ZB8 | AC – Rio Branco (RIO BRANCO, 2008)             | Área de janela/área de piso.  | 1/8 para sala, quarto e cozinha e 1/10 para banheiro. Pode haver abertura zenital de 10% (1/10) da área do piso no banheiro. Não há menção a espaço intermediário.  |
| ZB8 | AL – Maceió (MACEIÓ, 2007)                     | Não especificado.   | O atendimento aos níveis de iluminação é de competência e responsabilidade do projetista.   |
| ZB8 | AM – Manaus (MANAUS, 2002)                     | Área de janela/área de piso.  | 20% (1/5) para sala, quarto e cozinha e 15% ( $\approx 1/7$ ) para banheiro. Não há menção a espaço intermediário.  |
| ZB8 | AP – Macapá (MACAPÁ, 2004)                     | Área de janela/área de piso.  | 20% (1/5) para sala, quarto e cozinha e 15% ( $\approx 1/7$ ) para banheiro. Não há menção a espaço intermediário.  |
| ZB8 | BA – Salvador (SALVADOR, 1988)                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente;</li> <li>3. Área mínima.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/6 para sala, quarto e cozinha e 1/10 para banheiro. Um banheiro pode ser iluminado através de outro, desde que a distância para o exterior seja de até 2,50 m;</li> <li>2. 3x o pé direito;</li> <li>3. 1,00m<sup>2</sup> para sala, quarto e cozinha.</li> </ol>                             |
| ZB8 | CE – Fortaleza (FORTALEZA, 1981)               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente;</li> <li>3. Área mínima.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/6 para sala, quarto e cozinha e 1/8 para banheiro. Pode haver iluminação zenital de 1/16 para banheiro;</li> <li>2. 3x o pé direito e considera a dimensão do espaço intermediário;</li> <li>3. 0,70 m<sup>2</sup> para sala, quarto e cozinha e 0,30 m<sup>2</sup> para banheiro.</li> </ol> |
| ZB8 | ES – Vitória (VITÓRIA, 1998)                   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente;</li> <li>3. Área mínima.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/8 para sala, quarto e cozinha e 1/15 para banheiro. Pode haver redução de 30% se a abertura for zenital; Não há menção a espaço intermediário.</li> <li>2. 4x a largura mínima;</li> <li>3. 0,60 m<sup>2</sup> para sala, quarto e cozinha e 0,25 m<sup>2</sup> para banheiro.</li> </ol>     |
| ZB8 | MA – São Luís                                  | Código de Obras não disponível na Internet: Lei delegada nº 33, de 11/05/1976.  |   |
| ZB8 | PA – Belém (BELÉM, 1988)                       | Não especificado.   | De acordo com o Artigo 28, Serão definidas posteriormente as áreas mínimas de aberturas.  |
| ZB8 | PB – João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971)           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente.</li> </ol>                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/6 para sala e quarto e 1/10 para cozinha e banheiro. 1/4 e 1/8, respectivamente, quando houver espaço intermediário, desde que a distância para o exterior seja de até 2,50 m;</li> <li>2. 3x o pé direito.</li> </ol>  |
| ZB8 | PE – Recife (RECIFE, 1997)                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente.</li> </ol>                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/6 para sala e quarto, 1/8 para cozinha e 1/10 para banheiro. Pode haver iluminação através de espaço intermediário, desde que a distância para o exterior seja de até 2,00 m;</li> <li>2. 2,5x a largura.</li> </ol>  |

|     |   |   |  |
|-----|---|---|--|
| ZB8 | RJ – Rio de Janeiro<br>(RIO DE JANEIRO, 1970) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente.</li> </ol>                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/6 para sala, quarto e cozinha e 1/8 para banheiro. Pode haver iluminação através de espaço intermediário, desde que a distância para o exterior seja de até 2,00 m; 2. 2,5x o pé direito.</li> </ol>   |
| ZB8 | RN – Natal<br>(NATAL, 2004)                   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente.</li> </ol>                          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/6 para sala e quarto e 1/8 para cozinha e banheiro. Pode haver iluminação zenital de 6% na cozinha e no banheiro; Não se menciona espaço intermediário. 2. 3x o pé direito.</li> </ol>   |
| ZB8 | RO – Porto Velho<br>(PORTO VELHO, 1973)       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente;</li> <li>3. Área mínima.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/5 para todos os ambientes. Quando houver iluminação através de espaço intermediário, deve-se acrescentar 25% da área do piso; 2. 2,5x o pé direito ou 2x a largura da abertura; 3. 0,60 m<sup>2</sup>.</li> </ol>  |
| ZB8 | SE – Aracaju<br>(ARACAJU, 1966)               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área de janela/área de piso;</li> <li>2. Profundidade máxima do ambiente;</li> <li>3. Área mínima.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1/6 para sala e quarto e 1/8 para cozinha e banheiro. 1/5 e 1/6, respectivamente, quando houver espaço intermediário de até 2,00 m. 1/4 e 1/5, respectivamente, quando houver espaço intermediário maior que 2,00 m e menor que 3,50 m; 2. 2,5x o pé direito e considera a dimensão do espaço intermediário; 3. 1,20 m de largura e 1,20 m<sup>2</sup> para sala e quarto e 0,60 m de largura e 0,60 m<sup>2</sup> para cozinha e banheiro.</li> </ol> |

Fonte: Elaboração própria.

A partir da análise da Tabela 6, pode-se confirmar as considerações de Laranja, Gazzaneo & Cabús (2009) e Cunha (2011) de que maior parte dos Códigos de Obras brasileiros é muito antiga e que as referências à iluminação natural dos ambientes internos são, frequentemente, idênticas e não contemplam as diferenças geográficas, a latitude, o tipo de céu e a orientação solar da abertura.

O padrão comum utilizado nos Códigos de Obras para definição da área mínima de abertura para iluminação é a relação entre as áreas de janela e de piso. Fernandes (2009) aponta que esse padrão é uma metodologia simplista e não utilizada pelos pesquisadores e especialistas em iluminação.

Alguns Códigos de Obras apresentam avanços ao limitarem a profundidade dos ambientes, porém percebe-se que alguns limites são mais flexíveis que os recomendados pelos estudos técnicos. Porém, outros Códigos de Obras se mostram menos eficientes por não apresentarem exigências e/ou recomendações ou delegá-las aos arquitetos que muitas vezes não têm seus projetos executados com exatidão pelos construtores e incorporadores.

Quanto à possibilidade de abertura através de espaço intermediário, alguns Códigos de Obras não apresentam qualquer referência a ambientes tão comuns em climas quentes (ZB8), como varandas, terraços, jiraus, balcões. Já os Códigos de Obras das cidades de clima frio (ZB1) não mencionam a necessidade de isolamento térmico das aberturas. Para Fernandes (2009), o distanciamento existente entre a prática profissional e as exigências legais e o

conhecimento técnico-científico está ligado à desatualização profissional e à não valorização, por parte do usuário e do mercado imobiliário, das tecnologias e métodos de adequação da edificação ao meio no qual está inserida.

No Código de Obras da cidade de João Pessoa, o dimensionamento exigido para as aberturas é dado apenas pela relação entre as áreas da janela e de piso. Para os ambientes de uso prolongado – salas, quartos, copa, cozinha, gabinete de trabalho –, é exigido  $1/6$  da área do piso e para os ambientes de utilização eventual – sanitário, garagem, *hall*, despensa, circulações horizontal e vertical –,  $1/10$  da área de piso. É possível aberturas através de outros ambientes, como varanda e área de serviço, desde que a distância máxima da abertura para a face exterior da edificação seja de 2,50 m, observando a relação de  $1/4$  e  $1/8$  da área do piso para uso prolongado e eventual, respectivamente. Ainda observada a distância máxima para o exterior de 2,50 m, é admitida a iluminação de um banheiro através de outro banheiro da mesma unidade habitacional (JOÃO PESSOA, 1971).

Apesar dos critérios do Código de Obras da cidade de João Pessoa estarem de acordo com o RTQ-R, não há garantia de eficiência na iluminação natural do ambiente, uma vez que, em ambientes com maior profundidade, a porção mais distante da janela tem níveis de iluminância menores, a iluminação de um ambiente através de outro ambiente é influenciada pela obstrução da abertura, sua posição na parede, cor das superfícies, etc.

Os diversos padrões que podem ser adotados em uma legislação devem ser analisados de acordo com a disponibilidade de luz no local e os padrões que são adotados a partir de estudos específicos e criteriosos são mais confiáveis e eficazes do que padrões repetidos, como muitas vezes acontece nos Códigos de Obras municipais. Dessa forma, a verificação do padrão exigido pelo Código de Obras de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971) é importante para conferir sua eficiência.

## 1.8. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

De acordo com Mardaljevic (2008), pode-se considerar que uma análise baseada no clima (*climate-based analysis*) representa as condições prevalentes de um período de tempo, ao invés da análise de condições específicas de um instante. Devido à sazonalidade da luz natural, essa avaliação é feita para o período de um ano, apesar de algumas vezes serem requeridas análises sazonais ou mensais. Para esse tipo de análise é necessário especificar o período (em horas) que se deseja analisar. Os dois principais métodos dessa análise são o cumulativo e de série horária:

- a) O método cumulativo é a predição do acumulado de medições de alguma grandeza fotométrica da luz natural (por exemplo, iluminância total anual) encontrada no efeito (horário) da luminância (ou radiação) da abóbada e nas condições do Sol derivados do arquivo climático. Normalmente é determinado o período de um ano, mas é possível serem obtidos dados sazonais ou mensais. Esse método pode ser utilizado para prever o micro-clima e acesso ao Sol no meio urbano, a exposição em longo prazo de obras de arte a luz natural e a dinâmica da luz e/ou sombra;
- b) O método de série horária prediz medições instantâneas, baseadas nos valores horários (ou sub-horários) do arquivo climático. Essas predições são utilizadas para avaliar, por exemplo, o potencial global de iluminação natural de um edifício, a ocorrência de iluminâncias ou luminâncias excessivas, a entrada de modelos de comportamento para divisão de circuitos do sistema de iluminação artificial e utilização de cortinas, e a avaliação do desempenho de sistemas de controle.

Para a avaliação da iluminação natural a partir de medidas dinâmicas, é necessário que seja elaborado, em um *software* CAD (Autodesk AutoCAD, Autodesk 3ds Max, Grafho Rhinoceros, Trimble SketchUp e outros), o modelo virtual do ambiente a ser analisado em um *software* de simulação computacional da iluminação natural (Daysim, Rayfront e outros). Os *softwares* de simulação são baseados na combinação do Radiance<sup>1</sup> com um coeficiente de luz natural e modelo de céu. Ainda é necessário o arquivo climático anual de 8.760 horas do local no qual está situado o ambiente.

Os arquivos climáticos foram inicialmente pensados para avaliação térmica a partir de simulação computacional (CLARKE, 2001 *apud* MARDALJEVIC, 2008). Por essa razão, no arquivo climático de TRY são encontrados dados de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa, pressão atmosférica, radiação solar, iluminância, direção do vento, velocidade do vento, cobertura total do céu, visibilidade, precipitação e tempo. Para as simulações exclusivas da iluminação natural, os parâmetros necessários e que influenciam os resultados são:

- a) Radiação solar: radiação horizontal global e radiação horizontal difusa ou radiação direta;

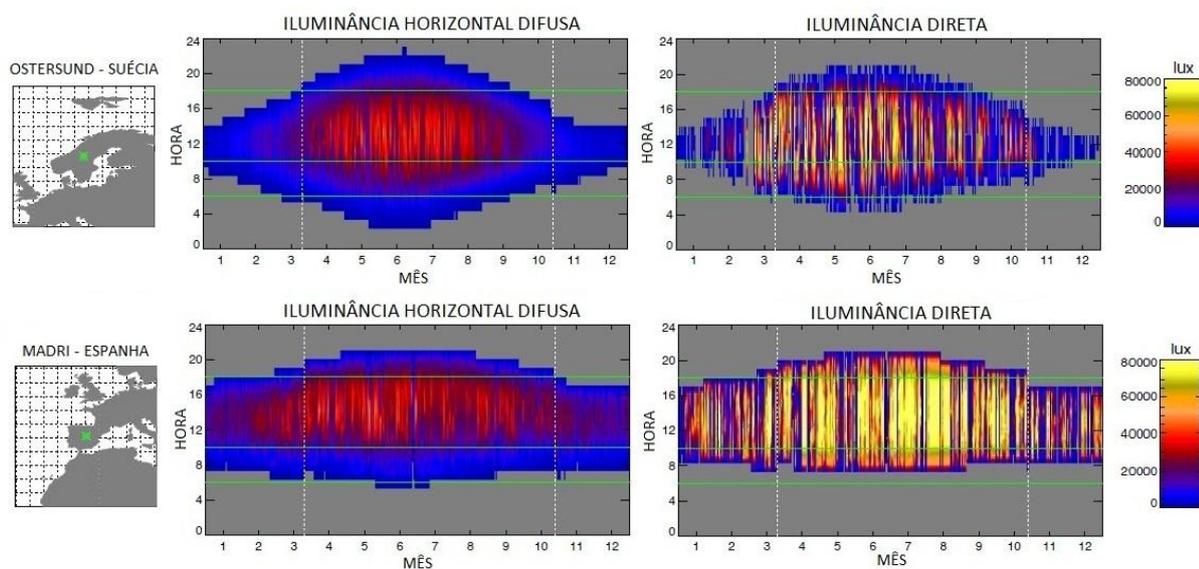
---

<sup>1</sup> O Radiance é um programa de simulação baseado nas propriedades físicas da luz. É utilizado para determinar a distribuição das iluminâncias e luminâncias do ambiente interno sob quaisquer condições de céu a partir do método de cálculo *Raytracing* (REINHART, 2010). É o programa de simulação da iluminação mais preciso e aceito pelos pesquisadores atualmente (MARDALJEVIC, 2008).

- b) Iluminância: iluminância horizontal global e iluminância horizontal difusa ou iluminância direta.

No estudo realizado por Mardaljevic (2008), para caracterizar o céu das cidades estudadas, foram utilizados os dados de iluminância horizontal difusa e iluminância direta. A Figura 10 mostra os gráficos construídos a partir desses dados para duas das cidades estudadas. Os padrões representados mostram a variação horária da iluminância ao longo do ano típico. Além de perceber a diferença dos valores absolutos encontrados em cada cidade, percebe-se a variação dos valores ao longo do dia e do ano: menores períodos com disponibilidade de luz natural nos meses de inverno (dezembro, janeiro, fevereiro e março) e maiores períodos no verão.

Figura 10 – Exemplos de gráficos construídos a partir dos dados de iluminância de um arquivo TRY.



Fonte: Traduzido de Mardaljevic, 2008.

A medição dos valores de iluminância do ambiente avaliado é realizada através de sensores que são distribuídos, geralmente, na altura do plano de trabalho. Esse conjunto de sensores é chamado de malha de pontos de avaliação. No RTQ-R (BRASIL, 2010), há a recomendação de que essa malha contenha no mínimo 25 pontos de avaliação e de que o entorno do ambiente deve ser modelado. Já na NBR 15215-4 (ABNT, 2005d), a quantidade mínima de pontos de avaliação para verificar o nível de iluminação natural com erro inferior a 10% é determinada a partir do índice do local (K), em função da largura (L) e comprimento

(C) do ambiente e da distância entre a superfície de trabalho e o topo da janela ( $H_m$ ), conforme a seguinte expressão e a Tabela 7.

$$K = \frac{C \cdot L}{H_m \cdot (C + L)}$$

Tabela 7 – Quantidade mínima de pontos de avaliação.

| <b>K</b>       | <b>NÚMERO DE PONTOS</b> |
|----------------|-------------------------|
| $K < 1$        | 9                       |
| $1 \leq K < 2$ | 16                      |
| $2 \leq K < 3$ | 25                      |
| $K \geq 3$     | 36                      |

Fonte: NBR 15215-4, ABNT, 2005d.

Deve-se manter o afastamento dos sensores nos eixos X e Y o mais semelhante possível, além de evitar pontos muito próximos às paredes. Recomenda-se um afastamento mínimo de 0,50 m das paredes (ABNT, 2005d).

Ainda é necessária a definição das características físicas dos materiais, já que há a influência do tipo de material na disponibilidade da luz natural no espaço interno. As características básicas definidas são: opacidade e transparência, rugosidade, reflexão especular ou difusa.

## 2. METODOLOGIA

Esta pesquisa está dividida em três partes, sendo iniciada com a revisão bibliográfica, que aborda o estado da arte da temática deste trabalho, assim como, a pesquisa sobre recomendações de aberturas mínimas para iluminação natural, tais como: RTQ-R, NBR 15215, a legislação de João Pessoa, alguns municípios brasileiros e outros países, a fim de comparar os diferentes critérios que podem ser considerados para o dimensionamento das aberturas.

A segunda parte é a caracterização e a construção dos modelos e do cenário que serão utilizados para simulação no *software* Daysim a partir dos parâmetros exigidos pelo Código de Obras da cidade de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971).

A terceira parte consiste na simulação computacional dos ambientes, que possibilita avaliar os projetos a partir de suas características dimensionais, componentes construtivos, sistema de iluminação. Para isso, é necessário dispor de informações climáticas disponíveis nos arquivos de dados climáticos horários (8.760 horas do ano).

### 2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS

Os modelos tridimensionais dos ambientes foram produzidos seguindo os critérios das dimensões mínimas – área, largura e altura – exigidas pelo Código de Obras da cidade de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971). A profundidade dos ambientes foi definida a partir das medidas de área e largura e a área da abertura, em função da área de piso.

De acordo com o Código de Obras da cidade de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971), uma residência unifamiliar necessita de, pelo menos, uma sala, um quarto, uma cozinha e um banheiro. As exigências para a sala e o quarto são área de 8,00 m<sup>2</sup>, largura e altura de 2,60 m. É possível a existência de um quarto de 6,00 m<sup>2</sup>, caso existam outros dois quartos de 8,00 m<sup>2</sup>, com largura de 2,20 m e altura de 2,60 m e um quarto de empregados de 5,00 m<sup>2</sup>, com largura de 2,00 m e altura de 2,40 m. A cozinha mínima tem 4,00 m<sup>2</sup>, com largura de 1,60 m e altura de 2,60 m. O banheiro mínimo tem área de 3,00 m<sup>2</sup> e largura de 1,30 m.

No Código de Obras (JOÃO PESSOA, 1971), a única referência em relação à varanda é sobre a possibilidade de abertura de ambientes para esse espaço, respeitada a distância máxima de 2,50 m entre as faces externas do ambiente e da varanda, como representado na Figura 11. As circulações das áreas comuns de uma edificação residencial necessitam de

largura mínima de 1,20 m; caso a circulação tenha mais de 15,00 m de comprimento, é exigida largura de 1,50 m; a altura mínima para uma circulação é de 2,30 m.

Figura 11 – Desenho esquemático da relação entre um ambiente e uma varanda.



Fonte: Elaboração própria.

Para a definição dos modelos, é levada em consideração a padronização de altura e de esquadrias. O pé-direito padrão é de 2,60 m para a sala, os quartos e a cozinha. Já para o quarto de empregados, o banheiro, a varanda e a circulação adota-se a altura de 2,40 m, por ser comum a existência de forro rebaixado para ocultar a tubulação abaixo da laje.

A abertura da sala para varanda, devido à necessidade e/ou à possibilidade de acesso a este ambiente, é uma porta de 2,10 m de altura. A abertura do quarto para a varanda é uma janela baixa com peitoril de 1,00 m e 1,10 m de altura. Já as aberturas para corredor necessitam de peitoril elevado, para resguardar a privacidade da área interna, dessa forma, o peitoril destas aberturas é de 1,80 m e sua altura é de 0,60 m. As janelas do quarto de empregados e da cozinha apresentam altura de 0,63 m e peitoril de 1,77 m, devido à largura destes ambientes não possibilitar a área necessária para uma abertura de 0,60 m de altura. A abertura única de cada ambiente está centralizada na parede da largura. A área das aberturas foi definida de acordo com a fenestração mínima exigida pelo Código de Obras da cidade de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971) para um ambiente iluminado através de um componente de condução da luz, que estabelece 1/4 da área de piso para sala, quarto e cozinha e 1/8 para banheiro. A Tabela 8 apresenta as características desses modelos.

Tabela 8 – Características dos modelos elaborados a partir das exigências do Código de Obras para ambientes iluminados através de componente de condução da luz.

| AMBIENTE – COMPONENTE DE CONDUÇÃO | DIMENSÕES DO AMBIENTE               | FENESTRAÇÃO | ABERTURA MODELADA <sup>2</sup>      |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Sala/Quarto 01 – Varanda          | 2,60 x 3,08 m = 8,00 m <sup>2</sup> | 1/4         | 0,96 x 2,10 m = 2,01 m <sup>2</sup> |
| Quarto 02 – Varanda               | 2,20 x 2,73 m = 6,00 m <sup>2</sup> | 1/4         | 1,37 x 1,10 m = 1,50 m <sup>2</sup> |
| Quarto de empregados – Circulação | 2,00 x 2,50 m = 5,00 m <sup>2</sup> | 1/4         | 2,00 x 0,63 m = 1,26 m <sup>2</sup> |
| Cozinha – Circulação              | 1,60 x 2,50 m = 4,00 m <sup>2</sup> | 1/4         | 1,60 x 0,63 m = 1,00 m <sup>2</sup> |
| Banheiro – Circulação             | 1,30 x 2,31 m = 3,00 m <sup>2</sup> | 1/8         | 0,63 x 0,60 m = 0,37 m <sup>2</sup> |

Fonte: Elaboração própria.

Para a avaliação da iluminação, é necessária a criação da malha de sensores para cada ambiente de acordo com a NBR 15215-4 (ABNT, 2005d). Cada ambiente, que está caracterizado a seguir, teve sua malha elaborada de acordo com sua dimensão e sua função. A sala e os quartos têm o plano de trabalho na altura de uma mesa, 0,75 m; na cozinha e no banheiro, foi definida a altura de 0,90 m por ser a altura usual das bancadas das áreas molhadas. A quantidade mínima de pontos para cada ambiente foi calculada, porém para haver uma distribuição mais simétrica, há mais pontos que o mínimo exigido pela norma.

A recomendação de afastamento de malha de pontos de avaliação de no mínimo 0,50 m das paredes não foi considerada, por se tratar de ambientes com dimensões pequenas, dessa forma, os pontos estão afastados 0,25 m. Essa dimensão foi definida considerando-se que em ambientes domésticos é comum a utilização de bancadas (áreas de trabalho) junto às paredes.

Todos os modelos apresentam os mesmos materiais: calçamento em paralelepípedos nas ruas, calçamento em cimento nos pisos do recuo entre as edificações do entorno, edificações do entorno com pintura em cor clara, piso interno em cerâmica, tetos e paredes internas em cor clara. O valor de refletância de cada material, apresentados na Tabela 9 foram obtidos em Lam (1986) e no padrão do *software* Daysim (REINHART, 2010).

<sup>2</sup> A área de abertura modelada, que é a mínima permitida, corresponde à área transparente.

Tabela 9 – Características das superfícies.

| <b>SUPERFÍCIE</b>                 | <b>CARACTERÍSTICAS</b>      | <b>FONTE</b>   |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|
| CALÇAMENTO DAS RUAS (MACADAME)    | 18% de refletância          | LAM, 1986      |
| CALÇAMENTO DOS TERRENOS (CIMENTO) | 27% de refletância          | LAM, 1986      |
| PAREDES EXTERNAS (BRANCO VELHO)   | 55% de refletância          | LAM, 1986      |
| PISOS INTERNOS                    | 30% de refletância          | REINHART, 2010 |
| TETOS INTERNOS                    | 84% de refletância          | REINHART, 2010 |
| PAREDES INTERNAS                  | 58% de refletância          | REINHART, 2010 |
| VIDROS                            | Transmissão luminosa de 90% | REINHART, 2010 |

Fonte: Elaboração própria.

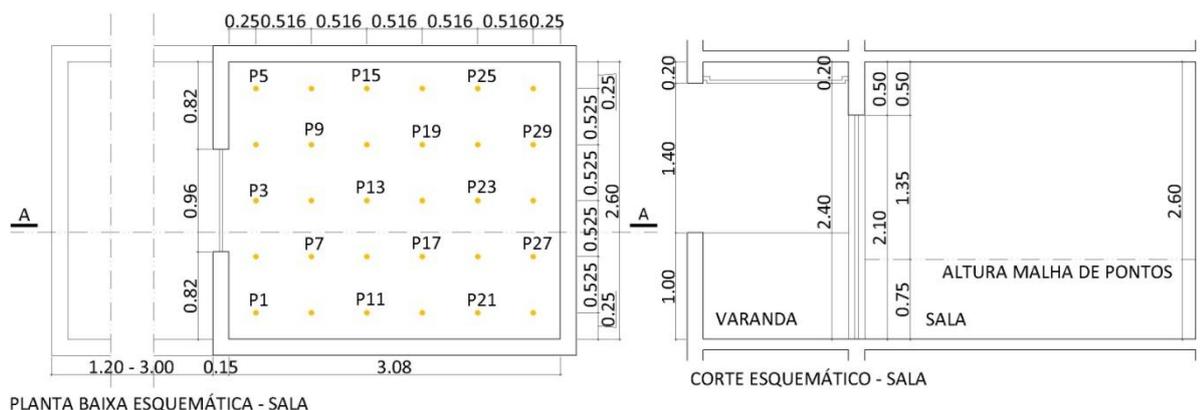
### 2.1.1. Varanda e circulação

Os componentes de condução da luz natural através dos quais é possível iluminar um ambiente, além de um banheiro para outro banheiro, são as varandas e as circulações. Os modelos de sala e quartos são analisados com aberturas para uma varanda contígua e os modelos de cozinha, banheiros e quarto de empregados com abertura para uma circulação também contígua. Foram definidos cinco modelos de varanda/circulação em relação à profundidade: 1,20 m; 1,50 m; 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m. Foi considerada a profundidade de 3,00 m com o objetivo de verificar a possibilidade de aumentar a profundidade máxima permitida dos componentes de condução. As larguras destes espaços são definidos de acordo com as larguras dos ambientes ao quais eles servem. Quanto à posição da varanda e da circulação em relação ao volume edificado, são definidas duas variações: os componentes encravado e saliente. A varanda da sala ainda tem outra variação, são simulados um peitoril opaco e um peitoril transparente.

### 2.1.2. Sala

O modelo virtual da sala tem área de 8,00 m<sup>2</sup>; largura de 2,60 m; 3,08 m de comprimento e altura de 2,60 m. A abertura (porta) tem 2,01 m<sup>2</sup> de área; com 2,10 m de altura e largura de 0,96 m. O índice K deste ambiente é de 1,04; sendo necessários 16 pontos de avaliação, no mínimo. A malha elaborada contém 30 pontos à altura de 0,75 m. A Figura 12 representa esse ambiente.

Figura 12 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual da sala.

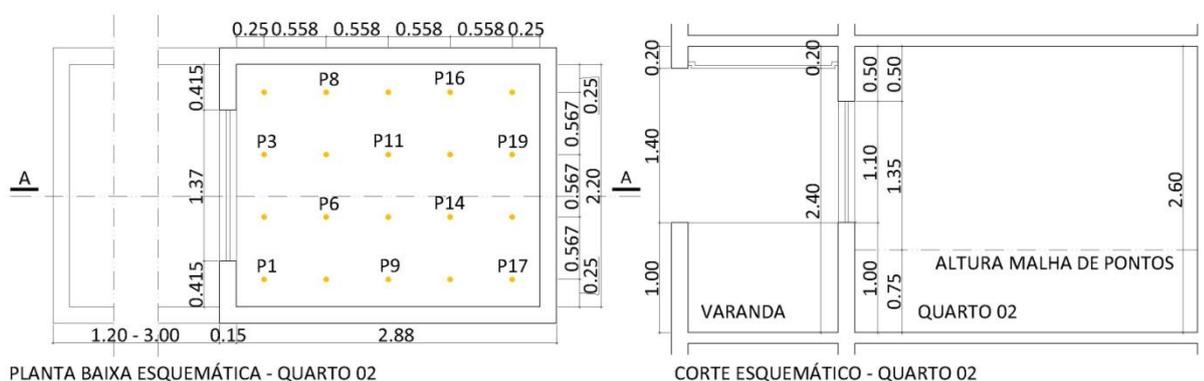


Fonte: Elaboração própria.

### 2.1.3. Quartos

- O primeiro igual a sala;
- O segundo, com 6,00 m<sup>2</sup> de área; largura de 2,20 m; 2,73 m de comprimento e 2,60 m de altura. A abertura (janela) tem 1,50 m<sup>2</sup> de área; altura de 1,10 m e largura de 1,37 m. O índice K desse ambiente é 0,90; sendo necessários 9 pontos de avaliação, no mínimo. A malha elaborada contém 20 pontos à altura de 0,75 m. A Figura 13 representa esse ambiente.

Figura 13 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual do quarto 02.

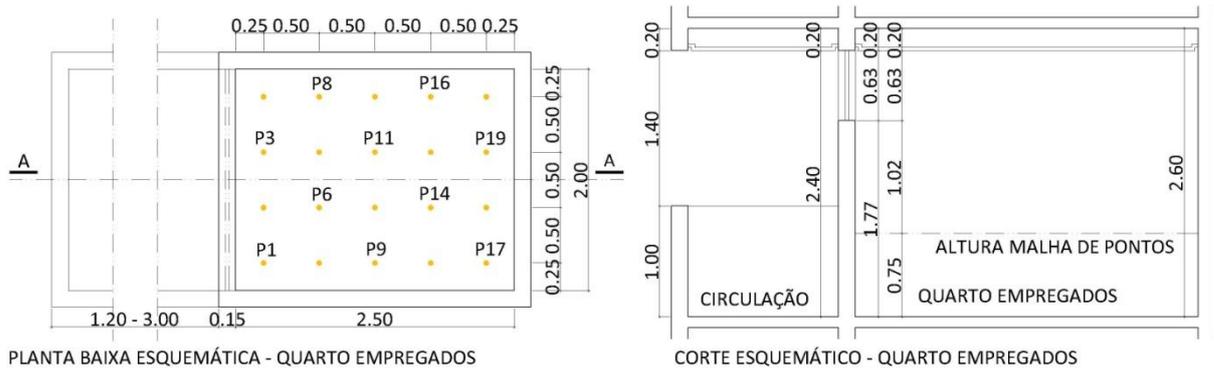


Fonte: Elaboração própria.

- O terceiro, um quarto de empregados, com 5,00 m<sup>2</sup> de área; largura de 2,00 m; 2,50 m de comprimento e altura de 2,40 m. Para atendimento da área de abertura,

foi adotada uma abertura (janela) de 1,26 m<sup>2</sup> de área; 0,63 m de altura e 2,00 m de largura e peitoril de 1,77 m. O índice K desse ambiente é 1,08; sendo necessários 16 pontos de avaliação, no mínimo. A malha elaborada contém 20 pontos à altura de 0,75 m. A Figura 14 representa esse ambiente.

Figura 14 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual do quarto de empregados.

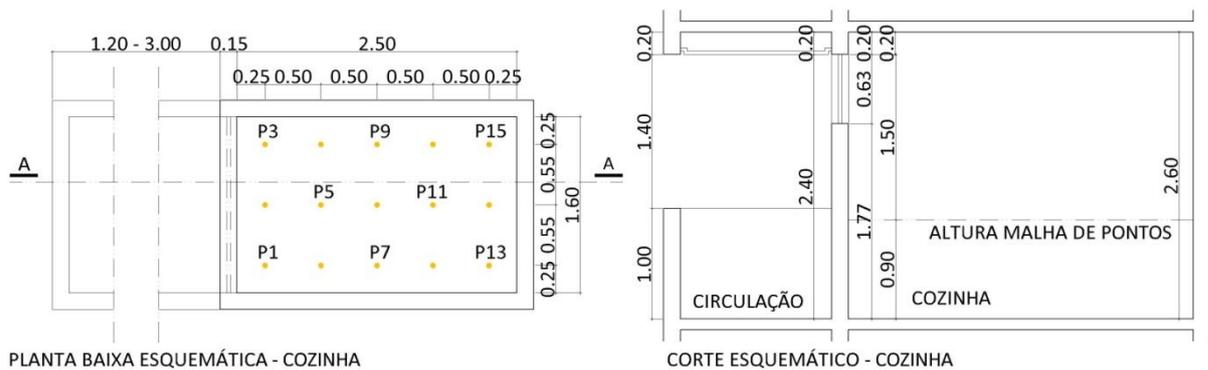


Fonte: Elaboração própria.

#### 2.1.4. Cozinha

O modelo da cozinha tem 4,00 m<sup>2</sup> de área; largura de 1,60 m; comprimento de 2,50 m e altura de 2,60 m. Assim como no quarto de empregados, a abertura (janela) tem peitoril de 1,77 m; 0,63 m de altura e 1,60 m de largura e área de 1,00 m<sup>2</sup>. O índice K deste ambiente é 0,65; sendo necessários 9 pontos de avaliação, no mínimo. A malha elaborada contém 15 pontos à altura de 0,90 m. A Figura 15 representa esse ambiente.

Figura 15 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual da cozinha.

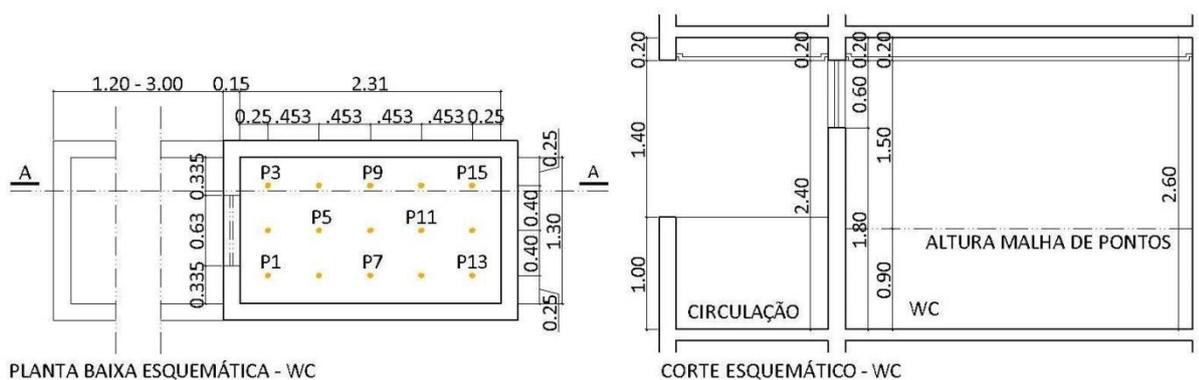


Fonte: Elaboração própria.

### 2.1.5. Banheiro

A área do modelo é de 3,00 m<sup>2</sup>; largura de 1,30 m e 2,31 m de comprimento. A abertura (janela) tem área de 0,37 m<sup>2</sup>; 0,60 m de altura e largura de 0,63 m e peitoril de 1,80 m; O índice K deste ambiente é 0,55; sendo necessários 9 pontos de avaliação, no mínimo. A malha elaborada contém 15 pontos à altura de 0,90 m. A Figura 16 representa o ambiente.

Figura 16 – Desenhos esquemáticos do modelo virtual do WC.



Fonte: Elaboração própria.

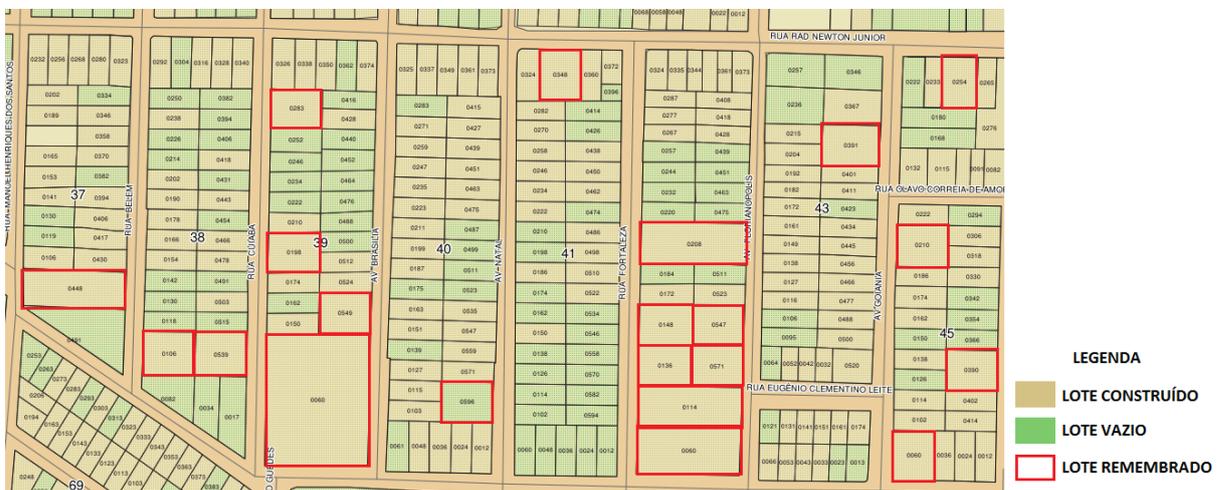
## 2.2. CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO

A análise realizada através de cenários, ao invés de uma situação real, tem como vantagem a possibilidade de simplificar e isolar as variáveis, diminuindo possíveis erros, além de facilitar a experimentação de variações. Porém, a desvantagem é que os resultados obtidos podem não ser diretamente relacionados ao problema. Na maioria das vezes, os resultados indicam prováveis desempenhos devido a um parâmetro, o que pode ser útil para o estudo inicialmente (NG *et al.*, 2006).

Para este estudo, é considerado um cenário urbano de ocupação máxima, com edificações de quatro pavimentos (térreo + três andares), classificadas como R5 pela legislação vigente (JOÃO PESSOA, 1971; JOÃO PESSOA, 2007). O estudo de cenários com ocupação máxima é amplamente realizado, tanto no Brasil quanto no exterior (CAPELUTO, 2002; LEDER *et al.*, 2006; NG *et al.*, 2006; SCALCO, PEREIRA & RIGATTI, 2010), devido ao crescente valor dos terrenos e por ser uma situação crítica cada vez mais presente em diversos locais das cidades.

A partir da aprovação do Decreto nº 5.900/2007 (JOÃO PESSOA, 2007), a menor dimensão de um lote urbano para o uso residencial na cidade de João Pessoa é de 10,00 x 20,00 m. Neste lote, é admitida unicamente uma edificação unifamiliar. A Figura 17 apresenta o mapa do bairro Planalto da Boa Esperança, na cidade de João Pessoa, e, nele, pode-se perceber a grande quantidade de lotes ainda vazios, por ser um loteamento recente, e as formas comuns de remembramento desses lotes. As quadras desse e de outros loteamentos, aprovados posteriormente à aprovação do Decreto, possuem aproximadamente 40 lotes e apresentam traçado regular.

Figura 17 – Mapa temático do bairro Planalto da Boa Esperança.



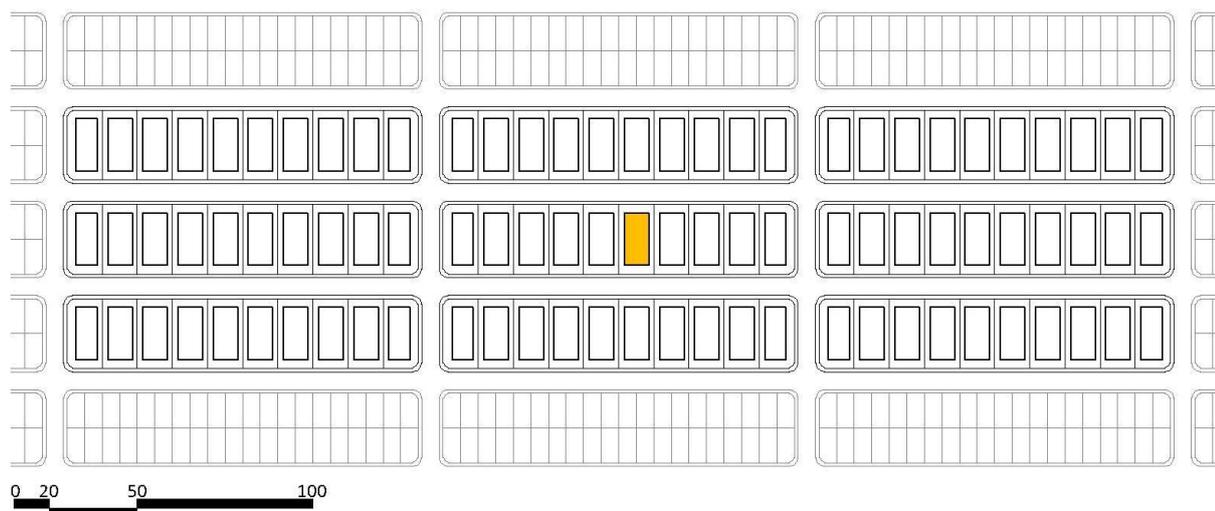
Fonte: Adaptado de Jampa em mapas, 2013.

A malha urbana virtual para inserção dos modelos dos ambientes simulados foi elaborada a partir das diretrizes da legislação municipal e da análise dos novos loteamentos realizados em conformidade com o Decreto 5.900/2007 (JOÃO PESSOA, 2007). Foi criada uma malha de quadras de 3 x 3, e cada quadra possui 40 lotes de 10,00 x 20,00 m. Para possibilitar a inserção de uma edificação multifamiliar R5, é necessário o remembramento dos lotes; os lotes foram remembrados a cada 4, tornando-se um lote de 20,00 x 40,00 m. Dessa forma, cada quadra apresenta 10 lotes de 20,00 x 40,00 m.

Quanto aos recuos, em maior parte da cidade de João Pessoa, para o uso R5 são exigidos 3,00 m de recuos laterais e de fundos e 5,00 m de recuos frontais. Dentro do lote 20,00 x 40,00 m, foram modelados volumes edificadas de 14,00 x 30,00 x 12,30 m (L x P x A). A rua foi elaborada com duas faixas de rolamento de 5,00 m e duas calçadas de 2,00 m. A Figura 18 ilustra a planta do cenário proposto.

Em destaque, na planta abaixo apresentada na Figura 18, o volume onde são inseridos os modelos simulados de cada ambiente. Cada ambiente está locado no centro do volume edificado. São verificados dois pisos do edifício, o térreo e o último pavimento – níveis +0,50 m e +8,60 m – para cada orientação – Norte, Leste, Sul e Oeste.

Figura 18 – Malha urbana elaborada para simulação.



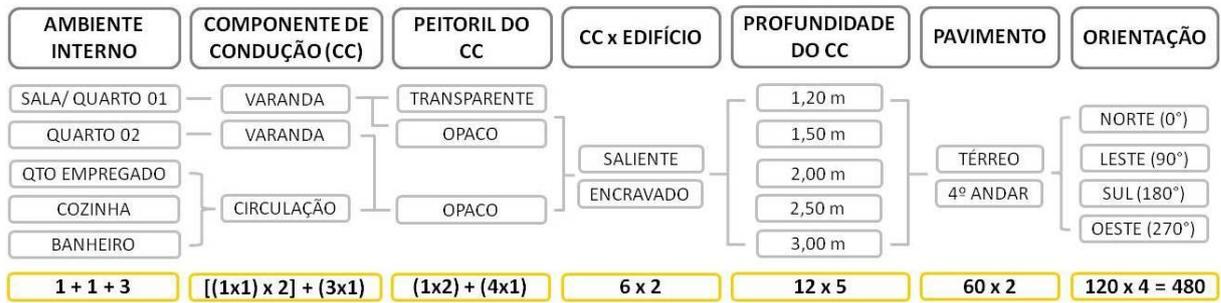
Fonte: Elaboração própria.

### 2.3. SIMULAÇÃO DINÂMICA DA LUZ NATURAL

Esse trabalho foi realizado com *software* Daysim, um dos programas de simulação dinâmica da iluminação natural recomendados pelo RTQ-R (BRASIL, 2010). O programa foi desenvolvido pelos *National Research Council Canada* (NRCC) e *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* (FRAUNHOFER ISE) da Alemanha. O *software* é baseado no algoritmo do Radiance para calcular as iluminâncias internas de um dado ambiente para o período de um ano em todas as condições de céu (REINHART, 2010).

Primeiramente, foi necessário elaborar os modelos tridimensionais virtuais dos ambientes e do entorno e, para isso foi utilizado o *software* gratuito Trimble SketchUp. Após a modelagem, foi necessário exportar os arquivos para o formato **.3ds**. As variáveis definidas resultaram em 480 combinações, ou seja, 480 ambientes a serem simulados, como mostra o esquema da Figura 19.

Figura 19 – Esquema metodológico de combinações.



Fonte: Elaboração própria.

Após criar um arquivo com a extensão **.hea**, um arquivo climático TRY é carregado no formato **.epw**. Foi utilizado o arquivo climático da cidade de João Pessoa, formatado pelo professor Maurício Roriz e disponível no *site* do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE – UFSC) – [www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br). O arquivo, após importado, foi convertido para o formato **.wea** ao se selecionar o intervalo horário de análise de 1 hora.

Em seguida, foi carregado o modelo virtual tridimensional no formato **.3ds**. Após o modelo ser reconhecido pelo Daysim, foram editados os materiais, diferenciados na modelagem por camadas (*layers*), segundo as características da Tabela 9. Foi importado, nessa mesma etapa, o arquivo de pontos de avaliação no formato **.pts**. Cada arquivo de modelo tridimensional foi produzido com quatro ambientes, os ambientes do pavimento térreo e os ambientes do 4º andar, com duas orientações opostas – Norte e Sul ou Leste e Oeste. Em função das limitações de tempo e desempenho dos computadores disponíveis para a realização das simulações, foi necessário fazer algumas racionalizações nesses modelos tridimensionais: foram inseridas, no cenário, apenas as varandas/circulações desses quatro ambientes, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Planta baixa esquemática e vista tridimensional dos modelos desenvolvidos para simulação.



Fonte: Elaboração própria.

O passo seguinte foi a simulação propriamente dita. O programa oferece um modo padrão para os parâmetros de simulação do Radiance, recomendado para um ambiente que têm materiais básicos (translúcidos, transparentes e opacos) e sistema de iluminação natural simples, sem cortinas ou brises.

Com a simulação completa, a aba *Analysis* pôde ser acessada, e nela, editado o arquivo de Perfil de Ocupação (*Occupancy Profile*) que possui extensão **.occ**. O arquivo foi configurado para avaliação, no período de um ano, do horário compreendido entre às 6 h e às 17 h, definido de acordo com os dados da carta solar da cidade de João Pessoa, bem como, por se considerar um uso contínuo dos espaços em análise. Dessa forma, somente o horário determinado foi computado no cálculo dos dados de saída do programa.

Na etapa subsequente – a partir dos dados de saída do Daysim (parâmetros como FLD, ALN, INU e exposição anual da luz para cada sensor) – foram utilizados os parâmetros **INU** e **ALN** para analisar a disponibilidade e distribuição da iluminação natural nos ambientes simulados.

O relatório disponibilizado pelo Daysim apresenta a INU em três faixas (INU<100lux, INU100-2000lux e INU>2000lux), porém, neste trabalho, foi adotado 3000 lux como o valor excessivo da INU (INU-e), tomando como base Mardaljevic *et al.* (2011) e Mardaljevic *et al.* (2012) que adotam o valor de 3000 lux como limite superior para ambientes de uso residencial. Dessa forma, por não haver a possibilidade de modificar as faixas da INU, foi necessário fazer relação entre a INU e a ALN para estabelecer as faixas da INU<100lux, INU100-3000lux e INU>3000lux. Os valores apresentados em porcentagem da INU<100lux foram utilizados sem mudanças, os valores da INU>3000lux foram definidos pelos valores da ALNmáx (ALNmáx = 10 x ALN pré definida, ou seja, para ALN 300lux, ALNmáx = 3000

lux) e os valores da INU100-3000lux foram obtidos com subtração de 100% da soma dos valores da INU<100lux e INU>3000lux.

#### 2.4. PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores da ALN foram utilizados para verificar a distribuição da luz natural que penetra os ambientes, sendo elaborado, através do *software* Golden Software Surfer 9, um gráfico de curva de cores falsas (IsoALN) para alguns modelos de cada ambiente simulado nesse estudo. Já os valores da INU de cada ambiente estão apresentados em tabelas no Capítulo 3 e serviram, inicialmente, para classificar cada combinação de ambiente como adequada ou inadequada e, a partir desta classificação, verificar se os níveis de iluminância proporcionados por dimensões mínimas de aberturas, permitidas pelo Código de Obras de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971) para a iluminação de um ambiente interno através de espaços intermediários, atendem a valores recomendados pelos estudos atuais.

O critério determinado para avaliar o desempenho da iluminação natural foi o seguinte: pelo menos metade do ambiente deve apresentar o valor mínimo de 75% da INU no intervalo de 100-3000 lux. Esse critério foi desenvolvido considerando Stewart (2008) e o LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design* (USGBC, 2011), que indicam a manutenção de iluminâncias mínimas, considerando parâmetros dinâmicos da iluminação natural, durante 75% do período de ocupação. Também contribuíram para a definição desse critério: a recomendação de Lynes (1968) de atender aos valores mínimos da legislação em pelo menos metade do ambiente e o estudo de Reinhart (2005), que considera suficiente a iluminação proporcionada por uma abertura lateral quando pelo menos metade do ambiente apresenta o valor da ALN predefinido na simulação.

Para analisar a influência de cada uma das variáveis definidas nesse estudo – relação entre o espaço intermediário e o volume do edifício (saliente ou encravado), transparência do peitoril, profundidade do componente de condução, orientação da abertura e altura do pavimento – foi utilizado um teste de hipótese<sup>3</sup>.

Uma hipótese estatística é uma declaração sobre o valor de um parâmetro, sobre os valores de vários parâmetros ou sobre a forma de uma distribuição de probabilidade inteira. Em qualquer problema de teste de hipóteses, existem duas suposições contraditórias em

---

<sup>3</sup> A análise estatística foi orientada/auxiliada pelo Laboratório de Métodos Quantitativos Aplicados (LabMEQA), vinculado ao Departamento de Engenharia de Produção (DEP) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

consideração: a hipótese nula ( $H_0$ ) (inicialmente assumida como verdadeira) e a hipótese alternativa (afirmação contraditória). Um teste de hipóteses é um procedimento para decidir se a hipótese nula deve ser rejeitada a partir de dados amostrais. Pode-se interpretar o resultado da análise de um teste de hipóteses a partir da rejeição da hipótese nula em um nível de significância especificado. O nível de significância observado (valor P) é o menor nível de significância em que a hipótese nula pode ser rejeitada ao se utilizar um procedimento de teste especificado em determinado conjunto de dados: valor  $P \leq \alpha$  implica em rejeição de  $H_0$  no nível  $\alpha$ ; valor  $P > \alpha$  implica em não-rejeição de  $H_0$  no nível  $\alpha$ . Quanto menor o Valor P, mais contraditórios são os dados de  $H_0$  (DEVORE, 2006).

As amostras comparadas não apresentaram distribuição normal, por esse motivo foi utilizado um procedimento de teste não-paramétrico, ou seja, não baseado em uma família paramétrica particular de distribuição (normal). O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney pode ser usado quando a amostra é pequena e/ou os pressupostos de normalidade da distribuição e variância homogênea da distribuição não são válidos. Esse teste é indicado para comparar dois grupos não pareados: testar a hipótese de que duas populações têm a mesma distribuição das observações medidas em escala ordinal. O intervalo de confiança, que fornece um intervalo de valores válidos para o parâmetro baseado nos dados da amostra, é definido em 95%, ou seja: o resultado estimado se encontra dentro deste intervalo em 95 das 100 observações. (DEVORE, 2006; VIEIRA, 2003). Foi adotado o nível de significância de 0,05.

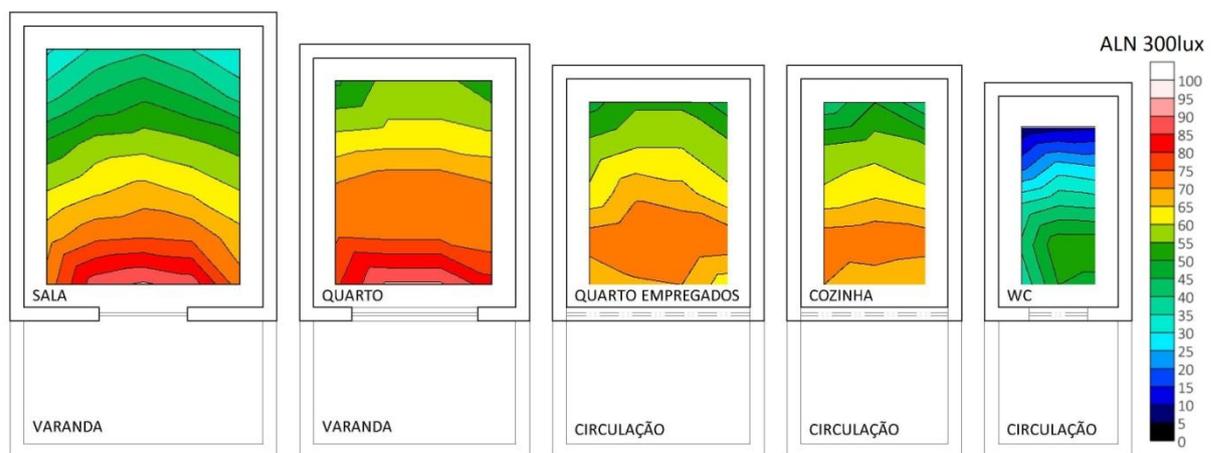
### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, estão apresentados os dados obtidos nas simulações, organizados em tabelas e gráficos, bem como considerações a seu respeito. Inicialmente, comenta-se sobre a distribuição da luz natural em todos os ambientes a partir dos dados da ALN, organizados em gráficos de isolinhas (gráficos isoALN), em seguida, analisa-se cada um dos ambientes separadamente em função dos dados da INU, organizados em forma de tabelas e gráficos.

#### 3.1. AUTONOMIA DA LUZ NATURAL (ALN)

Para a análise da distribuição da iluminação natural nos ambientes simulados, foram selecionados quatro modelos de cada um dos ambientes: modelos com componente de condução saliente e encaixado e modelos no pavimento térreo e 4º pavimento. Essa seleção se justifica por perceber-se que a distribuição dos valores da ALN 300lux nos modelos de cada ambiente é semelhante, independentemente da profundidade do componente de condução, da orientação, da transparência do peitoril e da altura do pavimento, que influenciam, principalmente, na quantidade de luz que penetra os ambientes. Dessa forma, foram selecionados os modelos que possuem componente de condução de 1,50 m de profundidade e peitoril opaco e orientação Sul, apresentados nas Figura 21, 22, 23 e 24.

Figura 21 – Gráficos de isoALN da distribuição da luz natural nos ambientes com componente de condução saliente de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, pavimento térreo.



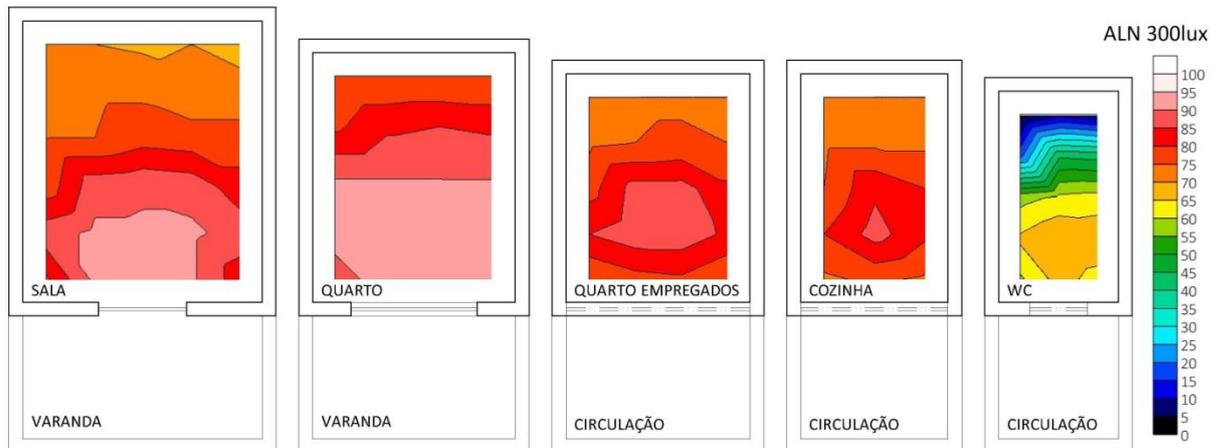
Fonte: Elaboração própria.

A partir da Figura 21, pode-se perceber que a distribuição dos valores da ALN 300lux apresenta um comportamento particular para cada um dos ambientes em análise. As diferenças podem ser atribuídas, principalmente, à configuração das aberturas, como já havia verificado Bittencourt *et al.* (1995). Na sala, cuja abertura é uma porta, nota-se que a área central apresenta maiores valores da ALN 300lux, reduzindo-se na direção das laterais. Também pode-se perceber um decréscimo gradual da ALN 300lux à medida que se distancia da abertura. A abertura do quarto é uma janela baixa horizontal, o que favorece uma melhor uniformidade entre o centro e as laterais do ambiente, além de um decréscimo gradual da ALN 300lux em função da distância menos marcante. A iluminação do quarto de empregados e da cozinha tem comportamento semelhante, uma vez que a abertura desses dois ambientes é semelhante: uma janela alta, junto ao teto e que ocupa toda a largura da parede na qual está situada. Nota-se que os maiores valores da ALN 300lux não estão nos pontos mais próximos à janela, mas na segunda linha de pontos. A distribuição dos valores da ALN 300lux, no banheiro, é semelhante à distribuição percebida no quarto de empregados e na cozinha, porém, com valores inferiores.

A sala, o quarto, o quarto de empregados e a cozinha – com varanda saliente de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, no pavimento térreo – apresentam iluminação natural suficiente, uma vez que mais da metade da área dos ambientes apresentam ALN 300lux, considerando-se o estudo de Reinhart (2005). Porém, isso não ocorre no banheiro (WC), fato que pode ser atribuído à área da abertura, de apenas 1/8 da área do piso, enquanto nos outros ambientes essa relação é de 1/4, ou seja: para o banheiro, a exigência é de uma abertura com metade do tamanho de uma abertura exigida para os demais ambientes, o que, por si só, pode gerar desconforto no usuário devido a grandes diferenças de iluminância nos espaços essenciais de uma mesma unidade habitacional.

A Figura 22 apresenta os gráficos elaborados para os modelos com componente de condução encravado de 1,50 m de profundidade e peitoril opaco, orientação Sul, no pavimento superior. A principal diferença entre esses gráficos está nos valores da ALN 300lux. Nos gráficos da Figura 22, percebe-se valores da ALN 300lux maiores que os apresentados na Figura 21. O aumento dos valores da ALN 300lux nos modelos do pavimento superior pode gerar menor contraste nos níveis da ALN 300lux na sala, no quarto, no quarto de empregados e na cozinha, além de aumentar a área do banheiro que pode ser considerada suficientemente iluminada.

Figura 22 – Gráficos de isoALN da distribuição da luz natural nos ambientes com componente de condução saliente de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, pavimento superior.

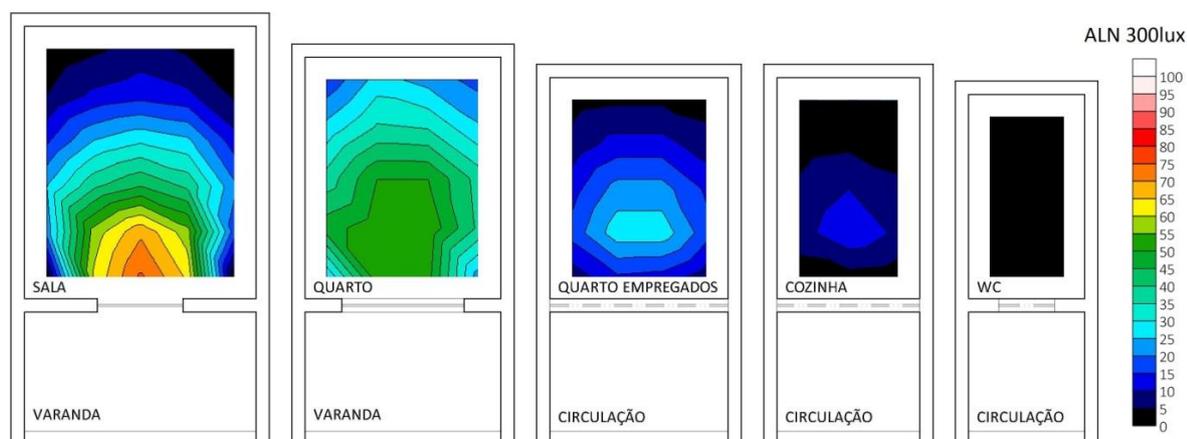


Fonte: Elaboração própria.

Em relação aos modelos com componente de condução engravado (Figuras 23 e 24), percebe-se que os valores da ALN 300lux são bem menores do que aqueles verificados nos modelos com componente de condução saliente. Outra diferença está na forma das curvas das isolinhas: enquanto nos modelos com componente de condução saliente, a curva é mais suave, com um raio maior, nos modelos com componente de condução engravado, os raios das curvas são menores, representando a interferência das paredes laterais do componente de condução na iluminação natural desses ambientes. Nos modelos com componente de condução engravado, as áreas laterais da abertura apresentam valores da ALN 300lux mais contrastantes com os valores em frente à abertura, devido à obstrução causada pelas paredes laterais dos componentes de condução. Isso fica bastante evidente nos modelos da sala e do quarto: a abertura mais estreita da sala cria uma área central mais iluminada do que as laterais; no quarto, com a abertura mais larga, a área central mais iluminada tem maior proporção que na sala. Mesmo com o componente de condução engravado, o decréscimo gradual da ALN 300lux em função da distância (em relação à abertura) é semelhante aos modelos com componente de condução saliente, porém mais contrastante.

Os banheiros dos modelos com componente de condução engravado, independentemente das variáveis verificadas, apresentam valores 0 de ALN 300lux, o que significa impossibilidade de penetração de luz natural suficiente nesse ambiente, devido à maior obstrução desta pequena abertura.

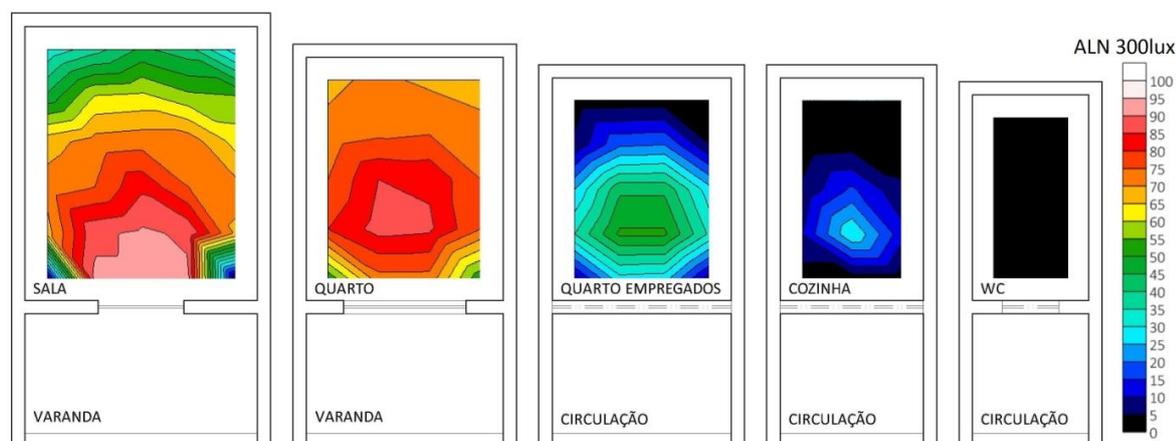
Figura 23 – Gráficos de isoALN da distribuição da luz natural nos ambientes com componente de condução engravado de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, pavimento térreo.



Fonte: Elaboração própria.

Assim como nos modelos com componente de condução saliente, a principal diferença entre os modelos com componente de condução engravado do pavimento térreo (Figura 23) e superior (Figura 24) está nos maiores valores da ALN 300lux verificados no pavimento superior. Porém, percebe-se que o quarto do térreo apresenta o comportamento igual ao quarto de empregados e a cozinha, no qual a área mais iluminada não está nos sensores mais próximos à abertura, mas nos sensores da segunda linha, em razão da maior obstrução da abertura nesse pavimento.

Figura 24 – Gráficos de isoALN da distribuição da luz natural nos ambientes com componente de condução engravado de 1,50 m e peitoril opaco, orientação Sul, pavimento superior.



Fonte: Elaboração própria.

A partir da análise desses gráficos, pode-se perceber que o ambiente que apresenta maior profundidade de penetração da luz no plano de trabalho é o quarto. Essa melhor distribuição da ALN 300lux pode ser atribuída à localização da área transparente acima do plano de análise, diferentemente da sala, que apresenta 35% da área envidraçada abaixo do plano de trabalho, bem como à maior largura da abertura e à menor profundidade do quarto – a parede de fundo serve como fonte de iluminação natural indireta a partir das reflexões internas. O quarto de empregados e a cozinha apresentam profundidade de penetração da luz semelhante a da sala, porém, nos ambientes que têm a janela alta, há maior uniformidade na distribuição, o que evidencia as variáveis ‘posição’ e ‘forma’ da abertura como determinantes na distribuição da luz natural no ambiente interno, não apenas a relação entre as áreas de janela e de piso, como se percebe em grande parte da legislação. Nos banheiros, analisando partir da ALN 300lux, apenas os modelos do pavimento superior com componente de condução saliente têm iluminação natural suficiente.

### 3.2. ILUMINAÇÃO NATURAL ÚTIL (INU)

Neste item, cada um dos ambientes é analisado separadamente, em função da Iluminação Natural Útil (INU). Os dados estão organizados em tabelas que contém a porcentagem da área dos ambientes, a qual apresenta cada intervalo da escala da INU. É apresentada a média da INU da área que apresenta o intervalo  $INU_{100-3000} \text{ lux} \geq 75\%$ , bem como o desvio padrão dessa média, a fim de caracterizar melhor os modelos e perceber quais apresentam maior e menor potencial de aproveitamento da luz natural.

#### 3.2.1. Sala/quarto 01

Das 160 combinações desse ambiente, 44 modelos (27,50%) se apresentaram inadequados, considerando-se o critério de análise utilizado. Os modelos que apresentam iluminação natural ineficiente são, principalmente, os que se encontram no pavimento térreo e têm varanda encravada, pois tanto as edificações do entorno quanto as paredes laterais da varanda obstruem a abertura dos modelos. As Tabelas 10, 11, 12 e 13 contêm a porcentagem da área dos ambientes que apresenta cada intervalo da escala da INU. Estão destacados em cinza os modelos que apresentam iluminação natural insuficiente.

Tabela 10 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |      |      |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|------|------|
| 001   | 1,20 m | N   | 1                        | 30,00                        | 66,67        | 85,15            | 6,49                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 91,62            | 1,76                      | 3,33  |      |      |
|   |        | L   | 1                        | 50,00                        | 46,67        | 87,71            | 4,56                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 93,37        | 89,92            | 3,07                      | 6,66  |      |      |
|   |        | S   | 1                        | 33,33                        | 66,67        | 84,30            | 4,97                      | 0     |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 93,37        | 90,25            | 3,35                      | 6,66  |      |      |
|   |        | O   | 1                        | 50                           | 50,00        | 86,60            | 5,20                      | 0     |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 90,00        | 88,66            | 4,35                      | 10,00 |      |      |
|   |        | 002 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 26,66            | 73,34                     | 84,62 | 6,96 | 0    |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 96,67                     | 91,24 | 1,07 | 3,33 |
| L   | 1      |     |                          | 50,00                        | 46,67        | 87,85            | 4,65                      | 3,33  |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 90,27            | 3,40                      | 3,33  |      |      |
| S   | 1      |     |                          | 33,33                        | 66,67        | 84,25            | 5,94                      | 0     |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 93,37        | 89,20            | 3,95                      | 6,66  |      |      |
| O   | 1      |     |                          | 50,00                        | 50,00        | 85,66            | 5,40                      | 0     |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 90,00        | 89,33            | 2,95                      | 10,00 |      |      |
| 003   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 26,66            | 73,34                     | 84,59 | 6,77 | 0    |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 96,67                     | 91,10 | 0,97 | 3,33 |
|   |        | L   | 1                        | 46,66                        | 53,34        | 86,11            | 6,05                      | 0     |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 90,79            | 1,01                      | 0     |      |      |
|   |        | S   | 1                        | 33,33                        | 66,67        | 84,65            | 5,90                      | 0     |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 89,79            | 3,01                      | 0     |      |      |
|   |        | O   | 1                        | 50,00                        | 50,00        | 86,60            | 4,82                      | 0     |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 89,13            | 3,28                      | 3,33  |      |      |
|   |        | 004 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 33,33            | 66,67                     | 84,72 | 6,86 | 0    |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 96,67                     | 90,86 | 0,91 | 3,33 |
| L   | 1      |     |                          | 50,00                        | 50,00        | 86,86            | 5,12                      | 0     |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 90,82            | 0,75                      | 0     |      |      |
| S   | 1      |     |                          | 30,00                        | 70,00        | 84,19            | 6,19                      | 0     |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 90,03            | 2,53                      | 3,33  |      |      |
| O   | 1      |     |                          | 50,00                        | 50,00        | 86,60            | 4,96                      | 0     |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 89,48            | 2,08                      | 0     |      |      |
| 005   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 26,66            | 73,34                     | 84,72 | 6,86 | 0    |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 96,67                     | 90,86 | 0,91 | 3,33 |
|   |        | L   | 1                        | 50,00                        | 50,00        | 87,93            | 3,97                      | 0     |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 90,72            | 1,06                      | 3,33  |      |      |
|   |        | S   | 1                        | 33,33                        | 66,67        | 84,80            | 5,90                      | 0     |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 89,68            | 2,57                      | 3,33  |      |      |
|   |        | O   | 1                        | 50,00                        | 50,00        | 86,93            | 4,89                      | 0     |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 89,13            | 2,27                      | 3,33  |      |      |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 11 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Saliente Transparente que apresenta cada intervalo da escala de INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |      |      |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|------|------|
| 006   | 1,20 m | N   | 1                        | 0                            | 96,67        | 84,55            | 6,66                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 91,51            | 1,19                      | 3,33  |      |      |
|   |        | L   | 1                        | 50,00                        | 46,67        | 88,50            | 3,43                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 93,34        | 89,82            | 3,20                      | 6,66  |      |      |
|   |        | S   | 1                        | 0                            | 96,67        | 86,34            | 6,24                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 90,00        | 90,88            | 1,44                      | 10,00 |      |      |
|   |        | O   | 1                        | 23,33                        | 73,34        | 85,45            | 5,79                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 86,67        | 88,84            | 4,30                      | 13,33 |      |      |
|   |        | 007 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 0                | 96,67                     | 88,17 | 3,77 | 3,33 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 96,67                     | 91,55 | 1,19 | 3,33 |
| L   | 1      |     |                          | 6,66                         | 90,00        | 85,42            | 5,87                      | 3,34  |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 93,34        | 90,64            | 2,49                      | 6,66  |      |      |
| S   | 1      |     |                          | 0                            | 96,67        | 83,82            | 6,34                      | 3,33  |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 93,34        | 90,39            | 2,80                      | 6,66  |      |      |
| O   | 1      |     |                          | 3,33                         | 70,00        | 86,00            | 5,83                      | 26,67 |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 86,67        | 89,29            | 3,41                      | 13,33 |      |      |
| 008   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 0                | 96,67                     | 86,34 | 5,72 | 3,33 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 96,67                     | 91,37 | 0,84 | 3,33 |
|   |        | L   | 1                        | 30,00                        | 66,67        | 86,70            | 5,54                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 90,96            | 1,47                      | 3,33  |      |      |
|   |        | S   | 1                        | 0                            | 96,67        | 83,44            | 6,45                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 90,03            | 3,16                      | 3,33  |      |      |
|   |        | O   | 1                        | 30,00                        | 66,67        | 86,40            | 5,45                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 93,34        | 89,92            | 2,52                      | 6,66  |      |      |
|   |        | 009 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 0                | 96,67                     | 84,67 | 6,78 | 3,33 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 96,67                     | 91,34 | 0,79 | 3,33 |
| L   | 1      |     |                          | 13,33                        | 83,34        | 86,16            | 6,22                      | 3,33  |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 91,17            | 0,64                      | 3,33  |      |      |
| S   | 1      |     |                          | 0                            | 96,67        | 83,72            | 6,39                      | 3,33  |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 89,93            | 3,12                      | 3,33  |      |      |
| O   | 1      |     |                          | 30,00                        | 66,67        | 86,55            | 5,70                      | 3,33  |      |      |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 89,03            | 4,02                      | 3,33  |      |      |
| 010   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 0                | 96,67                     | 84,89 | 6,64 | 3,33 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 96,67                     | 91,20 | 0,60 | 3,33 |
|   |        | L   | 1                        | 30,00                        | 66,67        | 87,20            | 5,39                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 91,24            | 0,56                      | 3,33  |      |      |
|   |        | S   | 1                        | 0                            | 96,67        | 86,62            | 6,41                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 89,86            | 3,27                      | 3,33  |      |      |
|   |        | O   | 1                        | 33,33                        | 63,34        | 87,52            | 4,95                      | 3,33  |      |      |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 89,96            | 2,37                      | 3,33  |      |      |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Encrava Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |      |   |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|------|---|
| 011   | 1,20 m | N   | 1                        | 70,0                         | 30,00        | 85,22            | 7,06                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 89,40            | 4,88                      | 0     |      |   |
|   |        | L   | 1                        | 76,66                        | 23,34        | 86,57            | 5,68                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,64        | 88,65            | 4,11                      | 3,33  |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 70,00                        | 30,00        | 85,22            | 7,29                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,64        | 88,65            | 5,08                      | 3,33  |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 76,66                        | 23,34        | 87,42            | 5,15                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 90,00        | 87,92            | 4,26                      | 10,00 |      |   |
|   |        | 012 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 73,33            | 26,67                     | 83,62 | 7,04 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 6,66             | 93,34                     | 90,17 | 1,70 | 0 |
| L   | 1      |     |                          | 80,00                        | 20,00        | 85,00            | 6,63                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 93,34        | 88,79            | 4,02                      | 6,66  |      |   |
| S   | 1      |     |                          | 76,66                        | 23,34        | 84,28            | 6,92                      | 3,33  |      |   |
|   | 4      |     |                          | 6,66                         | 93,34        | 89,60            | 2,60                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 80,00                        | 20,00        | 85,33            | 6,56                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 86,86            | 4,76                      | 3,33  |      |   |
| 013   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 86,66            | 13,34                     | 81,50 | 7,89 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 6,66             | 93,34                     | 83,50 | 6,97 | 0 |
|   |        | L   | 1                        | 93,33                        | 6,67         | 84,50            | 9,19                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 6,66                         | 93,34        | 87,37            | 3,50                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 86,66                        | 13,34        | 80,75            | 7,58                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 6,66                         | 93,34        | 85,71            | 5,45                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 93,33                        | 6,67         | 84,50            | 9,19                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 6,66                         | 90,00        | 85,66            | 3,97                      | 3,33  |      |   |
|   |        | 014 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 93,34            | 6,67                      | 81,50 | 9,19 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 50,00            | 50,00                     | 85,40 | 7,05 | 0 |
| L   | 1      |     |                          | 96,66                        | 3,34         | 86,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 20,00                        | 80,00        | 83,37            | 6,87                      | 0     |      |   |
| S   | 1      |     |                          | 93,34                        | 6,67         | 81,50            | 9,19                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 40,00                        | 60,00        | 84,88            | 7,48                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 96,66                        | 3,34         | 86,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 13,33                        | 86,67        | 84,15            | 4,71                      | 0     |      |   |
| 015   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 96,66            | 3,34                      | 76,00 | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 63,33            | 36,67                     | 84,00 | 7,29 | 0 |
|   |        | L   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 53,33                        | 46,67        | 84,07            | 6,30                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 96,66                        | 3,34         | 75,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 63,33                        | 36,67        | 85,63            | 6,37                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 46,66                        | 53,34        | 83,31            | 5,06                      | 0     |      |   |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Encravada Transparente que apresenta cada intervalo da escala de INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |      |   |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|------|---|
| 016   | 1,20 m | N   | 1                        | 46,66                        | 53,34        | 82,75            | 7,26                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 91,06            | 1,41                      | 3,33  |      |   |
|   |        | L   | 1                        | 70,00                        | 30,00        | 86,11            | 5,45                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 89,48            | 3,70                      | 3,33  |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 46,66                        | 53,34        | 82,43            | 7,25                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 96,67        | 91,06            | 1,11                      | 3,33  |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 70,00                        | 30,00        | 86,22            | 6,07                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 90,00        | 88,55            | 4,07                      | 10,00 |      |   |
|   |        | 017 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 66,66            | 33,34                     | 84,10 | 7,12 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 90,00 | 3,55 | 0 |
| L   | 1      |     |                          | 83,33                        | 16,67        | 85,28            | 5,82                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 89,55            | 3,05                      | 3,33  |      |   |
| S   | 1      |     |                          | 70,00                        | 30,00        | 84,77            | 6,77                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 89,46            | 3,96                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 80,00                        | 20,00        | 85,71            | 5,82                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 96,67        | 87,75            | 4,57                      | 3,33  |      |   |
| 018   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 83,33            | 16,67                     | 81,57 | 6,67 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 6,66             | 93,34                     | 89,71 | 1,71 | 0 |
|   |        | L   | 1                        | 86,66                        | 13,34        | 83,25            | 5,43                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 88,53            | 4,24                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 83,33                        | 16,67        | 81,42            | 6,72                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 6,66                         | 93,34        | 89,44            | 2,11                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 86,66                        | 13,34        | 82,70            | 5,56                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 6,66                         | 90,00        | 88,62            | 2,28                      | 3,33  |      |   |
|   |        | 019 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 86,66            | 13,34                     | 79,00 | 7,34 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 6,66             | 93,34                     | 83,78 | 6,72 | 0 |
| L   | 1      |     |                          | 96,66                        | 3,34         | 90,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 6,66                         | 93,34        | 85,03            | 5,19                      | 0     |      |   |
| S   | 1      |     |                          | 86,66                        | 13,34        | 78,75            | 7,50                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 6,66                         | 93,34        | 84,00            | 6,48                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 96,66                        | 3,34         | 90,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 6,66                         | 93,34        | 85,89            | 3,83                      | 0     |      |   |
| 020   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 96,66            | 3,34                      | 87,00 | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 33,33            | 66,67                     | 82,30 | 7,34 | 0 |
|   |        | L   | 1                        | 96,66                        | 3,34         | 80,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 20,00                        | 80,00        | 82,83            | 6,96                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 96,66                        | 3,34         | 86,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 46,66                        | 53,34        | 84,06            | 7,09                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 96,66                        | 3,34         | 80,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 33,33                        | 66,67        | 84,50            | 5,36                      | 0     |      |   |

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos valores, em porcentagem, da área iluminada dos ambientes (INU100-3000 lux  $\geq$  75%) para cada uma das combinações das variáveis, foram realizados os testes de hipóteses a fim de perceber quais variáveis afetam mais a disponibilidade da iluminação natural nesse ambiente. Dessa forma, foram comparadas duas a duas as categorias de cada variável. As comparações iniciais foram feitas com os 160 modelos, associando as informações das Tabelas 10, 11, 12 e 13, e estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos.

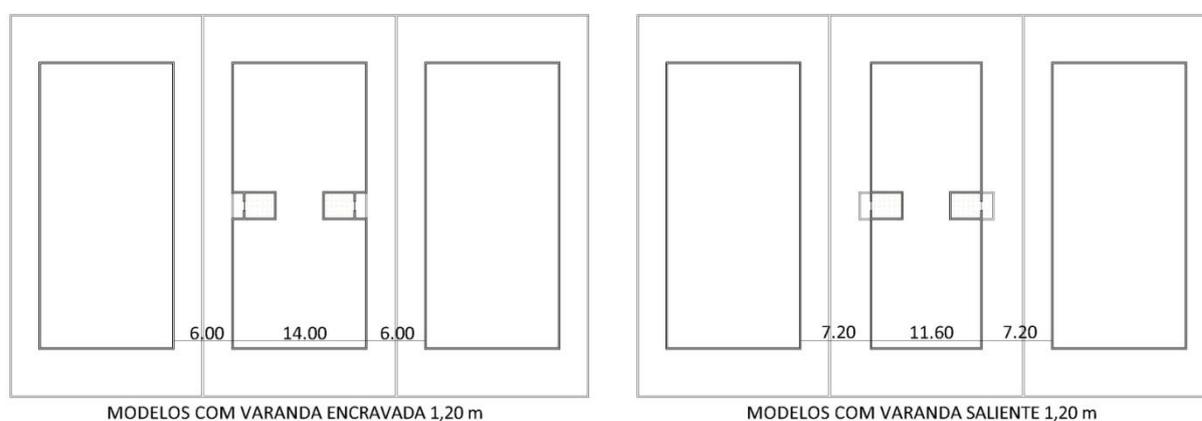
| VARIÁVEIS                     | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P                 | POPULAÇÕES  |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|
| Pavimento térreo x superior   | 46,67                       | 36,66 – 59,99              | 1,029x10 <sup>-15</sup> | Diferentes  |
| Varanda saliente x encravada  | -36,67                      | 16,66 – 46,67              | 7,737x10 <sup>-09</sup> | Diferentes  |
| Peitoril opaco x transparente | 3,33                        | 0,000045 – 16,66           | 0,0269                  | Diferentes  |
| Norte x Leste                 | 3,33                        | -0,000057 – 16,66          | 0,1692                  | Semelhantes |
| Norte x Sul                   | 0,0000197                   | -3,33 – 3,33               | 0,5285                  | Semelhantes |
| Norte x Oeste                 | 6,66                        | 0,000015 – 20,00           | 0,04618                 | Semelhantes |
| Sul x Leste                   | 0,030                       | -13,33 – 3,30              | 0,3555                  | Semelhantes |
| Leste x Oeste                 | 0,000039                    | -6,66 – 10,00              | 0,598                   | Semelhantes |
| Sul x Oeste                   | 5,17                        | -0,000048 – 16,67          | 0,09913                 | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste   | -3,33                       | 0,0000030 – 9,99           | 0,03476                 | Diferentes  |
| 1,20 m x 1,50 m               | -0,0000057                  | -6,66 – 6,64               | 0,9514                  | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m               | -0,000019                   | -6,66 – 9,99               | 0,8548                  | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m               | -0,029                      | -3,33 – 19,99              | 0,5642                  | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m               | -16,66                      | -0,029 – 30,00             | 0,202                   | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m               | -0,000075                   | -3,33 – 6,66               | 0,5772                  | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m               | -3,32                       | -3,32 – 16,66              | 0,3621                  | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m               | -16,66                      | -6,05 – 30,00              | 0,1331                  | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m               | -0,0000026                  | -3,33 – 10,00              | 0,5213                  | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m               | -9,99                       | -4,99 – 29,99              | 0,1604                  | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m               | -3,32                       | -3,33 – 29,99              | 0,3385                  | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

A partir dessas comparações, pode-se afirmar que influenciam na iluminação natural na Sala/quarto 01 as variáveis pavimento, relação entre o componente de condução e o volume do edifício (varanda saliente ou encravada) e a transparência do peitoril. A **relação entre o componente de condução e o volume do edifício** (varanda saliente ou encravada) tem uma influência significativa na admissão da luz natural. Os ambientes que apresentam aberturas através de componentes de condução salientes têm melhor desempenho que os ambientes com aberturas através de componentes de condução encravados. A diferença

estimada entre essas condições é de aproximadamente 36,67 pontos percentuais, como vê-se nos modelos 004 (2,50 m, orientação Sul, pavimento superior) (Tabela 10) e 014 (2,50 m, orientação Sul, pavimento superior) (Tabela 12). Essa observação deve-se, principalmente, ao fato de que, pela legislação, o afastamento deve ser considerado a partir da varanda e, como resultado dessa exigência, o modelo com varanda saliente possui maior afastamento entre o volume dos edifícios, como pode ser observado na Figura 25. O aumento do afastamento permite maior incidência da luz direta do Sol e aumenta a área visível de céu, o que proporciona maior incidência da luz natural.

Figura 25 – Diferença nos recuos laterais de modelos com varandas encravadas e salientes.



Fonte: Elaboração própria.

As orientações Norte e Sul (grupo 01) e as orientações Leste e Oeste (grupo 02) foram agrupadas, pois essas apresentaram diferenças desconsideráveis entre si, contudo, esses dois grupos de orientação apresentam diferença significativa.

A avaliação com todos os modelos desse ambiente camufla as diferenças que podem ser percebidas ao se comparar essas mesmas combinações (exceto relação entre componente de condução e o volume do edifício – varanda saliente ou encravada) em dois grupos: modelos com componente de condução saliente e modelos com componente de condução encravado. Por essa razão, nas tabelas a seguir (Tabelas 15 e 16), estão apresentados os resultados dos testes de hipóteses para esses dois grupos de modelos.

Ao se comparar as categorias de cada variável nesses dois grupos de modelos, tem-se melhor percepção da influência das variáveis para cada um deles, como pode ser visto ao comparar as Tabelas 14, 15 e 16. Por exemplo, enquanto a transparência do peitoril aparece

como uma variável que influencia a iluminação de todos os modelos na Tabela 14, percebe-se que essa variável não tem influência nos modelos com componente de condução encaixado (Tabela 15), apenas nos modelos com componente de condução saliente (Tabela 16). O comportamento é semelhante em relação à profundidade do componente de condução: nos modelos com componente de condução saliente (Tabela 16), a profundidade desse elemento afeta pouco a iluminação natural do ambiente, já nos modelos com componente de condução encaixado (Tabela 15), quanto mais profundo esse elemento, menor a área iluminada.

Tabela 15 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução encaixado.

| VARIÁVEIS                     | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P                 | POPULAÇÕES  |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|
| Pavimento térreo x superior   | 73,33                       | 66,66 – 80,00              | 2,464x10 <sup>-14</sup> | Diferentes  |
| Peitoril opaco x transparente | 3,33                        | 3,33 – 16,66               | 0,2773                  | Semelhantes |
| Norte x Leste                 | 0,011                       | -16,67 – 20,00             | 0,724                   | Semelhantes |
| Norte x Sul                   | 0,000022                    | -23,33 – 23,33             | 0,9458                  | Semelhantes |
| Norte x Oeste                 | 3,33                        | 20,00 – 23,34              | 0,489                   | Semelhantes |
| Sul x Leste                   | 0,00007                     | -20,00 – 20,00             | 0,8086                  | Semelhantes |
| Leste x Oeste                 | 1,54                        | -16,66 – 16,67             | 0,7652                  | Semelhantes |
| Sul x Oeste                   | 3,33                        | -20,00 – 23,34             | 0,5415                  | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste   | 3,33                        | -13,33 – 6,66              | 0,4899                  | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m               | -3,30                       | -6,67 – 26,67              | 0,6218                  | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m               | -6,67                       | -3,34 – 40,00              | 0,09541                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m               | -20,00                      | 3,30 – 46,67               | 0,02962                 | Diferentes  |
| 1,20 m x 3,00 m               | -30,00                      | 20,00 – 59,97              | 0,006709                | Diferentes  |
| 1,50 m x 2,00 m               | -6,65                       | -0,0000083 – 16,67         | 0,06756                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m               | -13,33                      | 0,000046 – 36,67           | 0,02907                 | Diferentes  |
| 1,50 m x 3,00 m               | -26,67                      | 16,66 – 56,67              | 0,01618                 | Diferentes  |
| 2,00 m x 2,50 m               | -6,67                       | 3,33 – 33,34               | 0,1738                  | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m               | -13,34                      | 3,33 – 56,67               | 0,01599                 | Diferentes  |
| 2,50 m x 3,00 m               | -10,00                      | -0,0000048 – 46,66         | 0,3385                  | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

Para os modelos com componente de condução encaixado, percebe-se que a **altura do pavimento** é a variável que apresenta maior influência. Essa grande diferença pode ser percebida nas Tabelas 12 e 13 que apresentam todos os modelos do térreo com iluminação natural insuficiente (exceção dos modelos 016 orientações Norte e Sul) (Tabela 13), o que representa 51,00% da amostra. Essa situação se explica pela obstrução das aberturas desses ambientes pelo entorno densamente construído impedindo a incidência de luz direta solar e da luz solar refletida pela abóbada celeste. A diferença estimada entre os modelos do pavimento

térreo e superior é de 73,33 pontos percentuais, como no modelo 012 (1,50 m, orientação Leste) (Tabela 12).

Nos modelos com componente de condução encravado, a influência da **profundidade** do componente de condução é significativa, porém só é percebida nos modelos que têm diferença de, pelo menos, um metro de comprimento: pode-se observar diferença do modelo de 1,20 m em relação aos modelos de 2,50 m e 3,00m; do modelo de 1,50 m em relação aos modelos de 2,50 m e 3,00 m; do modelo de 2,00 m em relação ao de 3,00m. Ou seja, os modelos com profundidade de 1,20 m, 1,50 m e 2,00 m apresentam diferenças desprezíveis entre si, como percebe-se nos modelos 011 (1,20 m, orientação Norte, pavimento superior, peitoril opaco) (Tabela 12), 017 (1,50 m, orientação Norte, pavimento superior, peitoril transparente) (Tabela 13) e 018 (2,00 m, orientação Leste, pavimento superior, peitoril transparente) (Tabela 13), assim como os modelos com profundidades de 2,50 m e 3,00 m também apresentam diferenças desprezíveis entre si, como os modelos 014 (2,50 m, orientação Leste, pavimento superior, peitoril opaco) (Tabela 12) e 020 (3,00 m, orientação Leste pavimento superior, peitoril transparente) (Tabela 13). A diferença estimada entre os modelos de 1,20 m e de 2,50 m é de 20 pontos percentuais (ver modelos 011 (1,20 m, orientação Leste, pavimento térreo) e 014 (2,50 m, orientação Leste, pavimento térreo) na Tabela 12). Já a diferença entre os modelos de 1,20 m e de 3,00 m é estimada em 30 pontos percentuais (ver modelos 016 (1,20 m, orientação Norte, pavimento superior) e 020 (3,00 m, orientação Norte, pavimento superior) na Tabela 13).

As variáveis **orientação e transparência do peitoril** – considerando-se o parâmetro adotado, para os modelos com o componente de condução encravado – não apresentam diferenças significativas, diferentemente do resultado obtido quando são verificados todos os modelos desse ambiente juntos. As quatro orientações apresentam a mesma área iluminada no modelo 019 (peitoril transparente, pavimento superior) (Tabela 13). Pode-se notar que os modelos 011 (pavimento superior) (Tabela 12) e 016 (pavimento superior) (Tabela 13), mesmo com o peitoril diferente, apresentam resultados semelhantes.

A seguir, estão apresentados os resultados obtidos para os modelos com o componente de condução saliente. Assim como foram percebidas diferenças em relação às variáveis que influenciam a iluminação entre os resultados considerando todos os modelos e os modelos com componente de condução encravados, há diferenças ao considerar separadamente os modelos com componente de condução saliente, como pode-se perceber na Tabela 16.

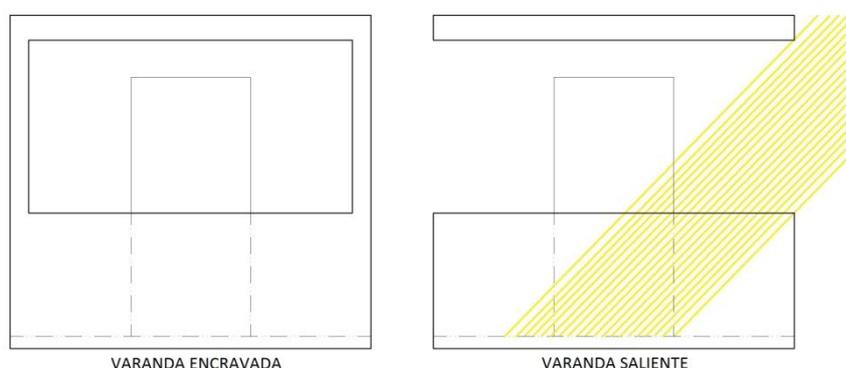
Tabela 16 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução saliente.

| VARIÁVEIS                     | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P    | POPULAÇÕES  |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|-------------|
| Pavimento térreo x superior   | 26,67                       | 20,00 – 29,99              | 0,00000051 | Diferentes  |
| Peitoril opaco x transparente | 3,33                        | 0,000035 – 23,32           | 0,01652    | Diferentes  |
| Norte x Leste                 | 3,33                        | -0,000085 – 23,34          | 0,01171    | Diferentes  |
| Norte x Sul                   | 0,000029                    | -0,00003 – 3,30            | 0,2517     | Semelhantes |
| Norte x Oeste                 | 9,99                        | 0,000012 – 26,66           | 0,002459   | Diferentes  |
| Sul x Leste                   | 3,32                        | -0,000085 – 20,00          | 0,07546    | Semelhantes |
| Leste x Oeste                 | 0,000012                    | -3,33 – 16,66              | 0,7205     | Semelhantes |
| Sul x Oeste                   | 6,70                        | -0,000033 – 26,67          | 0,01587    | Diferentes  |
| Norte e Sul x Leste e Oeste   | -6,67                       | -19,99 – 0,000063          | 0,0005338  | Diferentes  |
| 1,20 m x 1,50 m               | -0,000037                   | -10,00 – 3,37              | 0,6465     | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m               | -3,30                       | -10,00 – 0,000035          | 0,2406     | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m               | -3,30                       | -10,00 – 0,000017          | 0,1615     | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m               | -3,30                       | -10,00 – 0,000037          | 0,1931     | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m               | -0,00001                    | -6,67 – 3,33               | 0,4901     | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m               | -0,000035                   | -6,67 – 3,33               | 0,3596     | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m               | -0,000019                   | -6,67 – 3,33               | 0,4029     | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m               | -0,000045                   | -3,33 – 0,000049           | 0,8152     | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m               | -0,00007                    | -3,32 – 0,000016           | 0,9323     | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m               | 0                           | -3,43 – 0,00005            | 0,9135     | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

Nesses modelos, percebe-se que a **altura do pavimento** é a variável que apresenta diferença estimada mais significativa, em torno de 26,67 pontos percentuais, como nos modelos 001 (1,20 m, orientação Sul) (Tabela 10). A razão para essa diferença é a mesma em relação aos modelos com componente de condução encaixado: no pavimento superior, o entorno construído gera menor obstrução da abertura, havendo maior visibilidade de céu. Percebe-se que a diferença estimada para esses modelos é bem menor que a diferença estimada para os modelos com componente de condução encaixado, a inexistência das paredes laterais proporciona melhores resultados nos modelos do pavimento térreo, já que é possível haver penetração da luz pelas laterais do componente de condução saliente, como mostra a Figura 26.

Figura 26 – Vista frontal esquemática da possibilidade de penetração da luz natural pela lateral do componente de passagem saliente



Fonte: Elaboração própria.

Diferentemente dos modelos com componente de condução encravado, nesses modelos, por criar menor obstrução à abertura, percebe-se que a **transparência do peitoril** favorece à penetração da luz natural no interior, porém, com influência mais discreta do que a relação entre o componente de condução e o volume do edifício (varanda saliente ou encravada): pode haver uma diferença estimada 3,33 pontos percentuais. Essa diferença acontece principalmente no pavimento térreo como pode ser visto nos modelos 003 (2,00 m, orientação Leste) (Tabela 10) e 008 (2,00, orientação Leste) (Tabela 11).

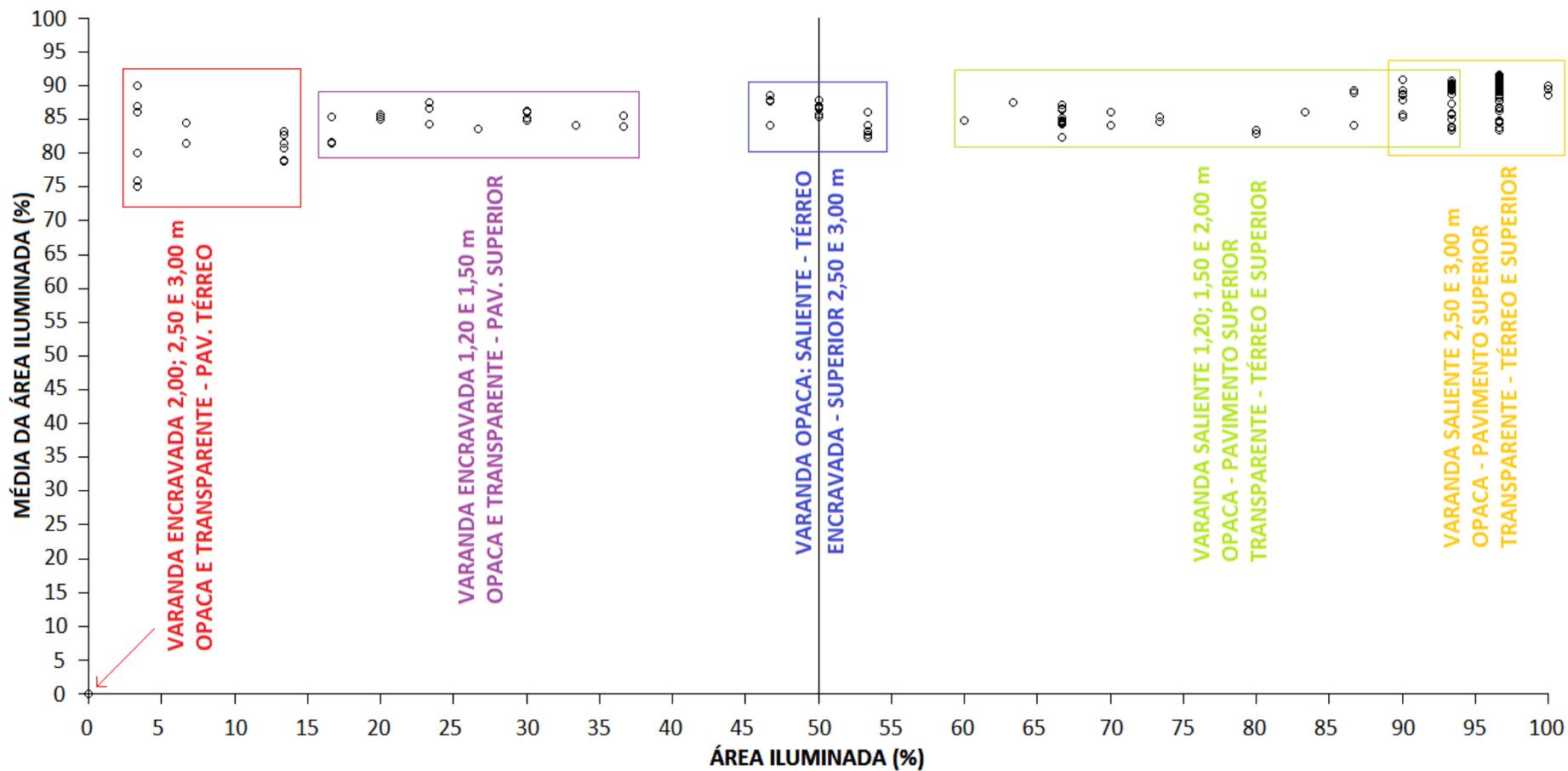
No que diz respeito à **orientação**, considerando-se o parâmetro adotado, percebe-se, através do teste de hipótese, que há diferenças significativas em algumas categorias dessa variável. Comparadas duas a duas, apresentam diferenças significativas entre si as orientações: Norte e Leste, Norte e Oeste, Sul e Oeste; não apresentam diferenças significativas entre si: Norte e Sul, Leste e Sul, Leste e Oeste. Por esta razão, foram combinadas as orientações Norte e Sul (grupo 01) e Leste e Oeste (grupo 02). Comparando-se os resultados dos modelos que apresentam abertura voltada para Norte ou Sul com aqueles das orientações Leste ou Oeste, percebe-se pequena diferença, estimada em 6,67 pontos percentuais, favorecendo as orientações Norte e Sul. Essa diferença pode ser percebida nos modelos 004 (2,50 m, pavimento térreo) (Tabela 10).

Ao contrário dos resultados obtidos para os modelos com componente de condução encravado, os resultados dos modelos com componente de condução saliente para a variável **profundidade** mostram que as categorias dessa variável não apresentam diferenças significativas. Essa semelhança entre as categorias dessa variável é explicada pela mesma razão por que a diferença estimada dos modelos do pavimento térreo e superior é menor nos

modelos com componente de condução saliente: com a inexistência das paredes laterais, a obstrução da abertura por parte do componente de condução é bem menor, já que é possível haver penetração da luz pelas laterais do componente de condução saliente. Os modelos 001 (1,20 m, orientação Sul, pavimento superior), 002 (1,50 m, orientação Sul, pavimento superior), 003 (2,00 m, orientação Sul, pavimento superior), 004 (2,50 m, orientação Sul, pavimento superior) e 005 (3,00 m, orientação Sul, pavimento superior), na Tabela 10, apresentam esse comportamento.

Na Figura 27, está apresentado o gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada para cada um dos 160 modelos desse ambiente. Os dados desse gráfico estão nas Tabelas 10, 11, 12 e 13. A partir desse gráfico, pode-se analisar qualitativamente os modelos, sendo possível verificar diferenças da média da área iluminada entre os modelos que apresentam a mesma área iluminada e quais os modelos que apresentam melhores e piores resultados. Os modelos com melhor aproveitamento da luz natural, considerando-se o parâmetro adotado, são aqueles que possuem a varanda saliente, com dimensão de 2,50 m e 3,00 m e peitoril transparente, no pavimento superior. Os modelos com resultados mais baixos são os do pavimento térreo com varanda encravada de 2,00 m a 3,00 m. Os modelos com peitoril transparente apresentam médias um pouco melhores tanto nos modelos com varanda saliente, quanto nos modelos com varanda encravada.

Figura 27 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos da Sala/quarto 01.



Fonte: Elaboração própria.

O desempenho dos modelos (Figura 27) pode ser associado, principalmente, a obstrução da abertura, como já mencionado na análise das variáveis. Os modelos que apresentam menor obstrução, quer seja devido ao maior recuo entre os blocos dos edifícios, quer seja pela inexistência de paredes laterais nos componentes de condução, apresentam tanto maiores áreas iluminadas, quanto médias mais elevadas, o que significa que podem ter mais área iluminada e mais tempo com iluminação natural suficiente, como os modelos 010 (varanda saliente transparente de 3,00 m, pavimento superior) (Tabela 11). Já os modelos que apresentam maior obstrução podem ser considerados inadequados quanto a iluminação natural por apresentarem menos de 50% da área com  $INU100-3000lux \geq 75\%$ . Esses modelos inadequados são, principalmente, os do pavimento térreo com varanda encravadas, que quanto mais profundas (2,50 m e 3,00 m), mais baixos resultados apresentam (Tabela 12).

A partir dessas observações, pode-se inferir que a dimensão mínima da abertura em função da área do ambiente não é suficiente para garantir níveis adequados de iluminação natural quando a abertura encontra-se sombreada por elementos de condução. Destaca-se a influência do fechamento lateral do componente de condução, da transparência do peitoril e da orientação da abertura.

### 3.2.2. Quarto 02

As variáveis analisadas nessa pesquisa geraram 80 combinações para esse ambiente, das quais 18 não atendem ao critério desenvolvido para  $INU100-3000lux$ , que correspondem a 22,50% dos modelos analisados. Todos os ambientes que se mostram inadequados estão no pavimento térreo e possuem varanda encravada, independentemente dos critérios de profundidade e orientação (exceção para os modelos com varanda de 1,20 m e voltados para Norte e Sul) (ver Tabelas 17 e 18). Estão destacados em cinza os modelos que não atendem ao critério desenvolvido.

Tabela 17 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |   | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |
|---|--------|---|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|
| 021   | 1,20 m | N | 1                        | 0                            | 100,00       | 87,05            | 5,95                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 92,20            | 1,36                      | 0     |
|   |        | L | 1                        | 15,00                        | 85,00        | 87,67            | 5,61                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 95,00        | 88,15            | 5,79                      | 5,00  |
|   |        | S | 1                        | 0                            | 95,00        | 84,52            | 6,32                      | 5,00  |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 90,00        | 89,55            | 3,09                      | 10,00 |
|   |        | O | 1                        | 0                            | 100,00       | 88,40            | 4,79                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 20,00                        | 80,00        | 87,43            | 5,05                      | 0     |
| 022   | 1,50 m | N | 1                        | 0                            | 100,00       | 86,90            | 6,06                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 92,00            | 1,25                      | 0     |
|   |        | L | 1                        | 20,00                        | 80,00        | 87,85            | 5,35                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 89,90            | 3,94                      | 0     |
|   |        | S | 1                        | 0                            | 95,00        | 85,21            | 6,21                      | 5,00  |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 90,00        | 90,33            | 2,00                      | 10,00 |
|   |        | O | 1                        | 0                            | 100,00       | 87,81            | 5,19                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 90,00        | 88,27            | 3,61                      | 10,00 |
| 023   | 2,00 m | N | 1                        | 0                            | 100,00       | 86,85            | 6,06                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,80            | 1,10                      | 0     |
|   |        | L | 1                        | 20,00                        | 80,00        | 88,00            | 5,08                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,15            | 1,95                      | 0     |
|   |        | S | 1                        | 0                            | 95,00        | 85,26            | 6,30                      | 5,00  |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 90,00        | 90,61            | 2,27                      | 10,00 |
|   |        | O | 1                        | 20,00                        | 80,00        | 87,62            | 5,56                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 87,50            | 4,89                      | 0     |
| 024   | 2,50 m | N | 1                        | 0                            | 100,00       | 86,65            | 6,21                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,65            | 1,08                      | 0     |
|   |        | L | 1                        | 15,00                        | 85,00        | 87,29            | 5,87                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,15            | 1,46                      | 0     |
|   |        | S | 1                        | 0                            | 95,00        | 85,05            | 6,24                      | 5,00  |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 90,00        | 90,55            | 1,94                      | 10,00 |
|   |        | O | 1                        | 20,00                        | 80,00        | 88,00            | 5,11                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 87,70            | 4,23                      | 0     |
| 025   | 3,00 m | N | 1                        | 0                            | 100,00       | 87,20            | 5,69                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,55            | 0,99                      | 0     |
|   |        | L | 1                        | 5,00                         | 95,00        | 86,42            | 6,46                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,60            | 0,99                      | 0     |
|   |        | S | 1                        | 0                            | 95,00        | 85,15            | 6,05                      | 5,00  |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 90,00        | 90,22            | 2,04                      | 10,00 |
|   |        | O | 1                        | 0                            | 100,00       | 87,29            | 5,67                      | 0     |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 88,55            | 3,61                      | 0     |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 18 – Porcentagem da área dos modelos com a Varanda Encravada Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     |        | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |      |   |
|---|--------|-----|--------|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|------|---|
| 026   | 1,20 m | N   | 1      | 40,00                    | 60,00                        | 83,16        | 6,32             | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 0                        | 100,00                       | 91,30        | 0,80             | 0                         |      |   |
|   |        | L   | 1      | 60,00                    | 40,00                        | 83,62        | 5,12             | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 0                        | 100,00                       | 88,25        | 4,56             | 0                         |      |   |
|   |        | S   | 1      | 40,00                    | 60,00                        | 82,41        | 6,21             | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 0                        | 100,00                       | 91,35        | 0,74             | 0                         |      |   |
|   |        | O   | 1      | 60,00                    | 40,00                        | 83,37        | 4,86             | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 0                        | 100,00                       | 84,95        | 6,44             | 0                         |      |   |
|   |        | 027 | 1,50 m | N                        | 1                            | 60,00        | 40,00            | 78,62                     | 6,11 | 0 |
|   |        |     |        |                          | 4                            | 0            | 100,00           | 90,50                     | 1,76 | 0 |
| L   | 1      |     |        | 90,00                    | 10,00                        | 86,50        | 0,70             | 0                         |      |   |
|   | 4      |     |        | 0                        | 100,00                       | 90,05        | 1,84             | 0                         |      |   |
| S   | 1      |     |        | 65,00                    | 35,00                        | 75,00        | 0                | 0                         |      |   |
|   | 4      |     |        | 0                        | 100,00                       | 90,50        | 1,39             | 0                         |      |   |
| O   | 1      |     |        | 90,00                    | 10,00                        | 86,00        | 0                | 0                         |      |   |
|   | 4      |     |        | 0                        | 100,00                       | 87,90        | 3,85             | 0                         |      |   |
| 028   | 2,00 m |     |        | N                        | 1                            | 90,00        | 10,00            | 75,00                     | 0    | 0 |
|   |        |     |        |                          | 4                            | 0            | 100,00           | 88,20                     | 4,71 | 0 |
|   |        | L   | 1      | 100,00                   | 0                            | 0            | 0                | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 0                        | 100,00                       | 88,55        | 4,77             | 0                         |      |   |
|   |        | S   | 1      | 90,00                    | 10,00                        | 75,00        | 0                | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 0                        | 100,00                       | 88,50        | 4,75             | 0                         |      |   |
|   |        | O   | 1      | 100,00                   | 0                            | 0            | 0                | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 0                        | 100,00                       | 87,95        | 3,70             | 0                         |      |   |
|   |        | 029 | 2,50 m | N                        | 1                            | 100,00       | 0                | 0                         | 0    | 0 |
|   |        |     |        |                          | 4                            | 10,00        | 90,00            | 83,55                     | 5,64 | 0 |
| L   | 1      |     |        | 100,00                   | 0                            | 0            | 0                | 0                         |      |   |
|   | 4      |     |        | 10,00                    | 90,00                        | 87,11        | 3,32             | 0                         |      |   |
| S   | 1      |     |        | 100,00                   | 0                            | 0            | 0                | 0                         |      |   |
|   | 4      |     |        | 10,00                    | 90,00                        | 84,47        | 5,58             | 0                         |      |   |
| O   | 1      |     |        | 100,00                   | 0                            | 0            | 0                | 0                         |      |   |
|   | 4      |     |        | 10,00                    | 90,00                        | 85,83        | 3,25             | 0                         |      |   |
| 030   | 3,00 m |     |        | N                        | 1                            | 100,00       | 0                | 0                         | 0    | 0 |
|   |        |     |        |                          | 4                            | 40,00        | 60,00            | 79,54                     | 6,37 | 0 |
|   |        | L   | 1      | 100,00                   | 0                            | 0            | 0                | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 20,00                    | 80,00                        | 79,31        | 8,67             | 0                         |      |   |
|   |        | S   | 1      | 100,00                   | 0                            | 0            | 0                | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 40,00                    | 60,00                        | 78,45        | 5,87             | 0                         |      |   |
|   |        | O   | 1      | 100,00                   | 0                            | 0            | 0                | 0                         |      |   |
|   |        |     | 4      | 30,00                    | 70,00                        | 81,78        | 4,13             | 0                         |      |   |

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos valores, em porcentagem, da área iluminada dos ambientes (INU100-3000 lux  $\geq$  75%) para cada uma das combinações das variáveis, foram realizados testes de hipóteses a fim de perceber quais variáveis afetam mais a disponibilidade da iluminação natural neste ambiente. Foram estabelecidas comparações iniciais com os 80 modelos do Quarto 02, feitas duas a duas para as categorias das variáveis, associando as informações das Tabelas 17 e 18. Os resultados dessas comparações estão apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos.

| VARIÁVEIS                    | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P  | POPULAÇÕES  |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------|
| Varanda saliente x encravada | -36,31                      | -60,00 – -10,00            | 0,000075 | Diferentes  |
| Pavimento térreo x superior  | 20,00                       | 5,00 – 60,00               | 0,000058 | Diferentes  |
| Norte x Leste                | 0,00001                     | -0,000042 – 15,00          | 0,1876   | Semelhantes |
| Norte x Sul                  | 5,00                        | -0,000024 – 10,00          | 0,05792  | Semelhantes |
| Norte x Oeste                | 0,000011                    | -0,000018 – 20,00          | 0,3423   | Semelhantes |
| Sul x Leste                  | 0,000036                    | -10,00 – 10,00             | 0,8584   | Semelhantes |
| Leste x Oeste                | -0,000021                   | -10,00 – 10,00             | 0,8663   | Semelhantes |
| Sul x Oeste                  | -0,00004                    | -10,00 – 10,00             | 0,6292   | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste  | 0,000034                    | 0,000076 – 10,00           | 0,5971   | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m              | 0,00001                     | -5,00 – 10,00              | 0,9682   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m              | 0,000079                    | -5,00 – 20,00              | 0,8734   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m              | 5,00                        | -5,00 – 15,00              | 0,2965   | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m              | 5,00                        | -5,00 – 40,00              | 0,2768   | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m              | 0,0000066                   | -5,00 – 10,00              | 0,7775   | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m              | 5,00                        | -0,0000076 – 10,00         | 0,2052   | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m              | 5,00                        | -0,000034 – 30,00          | 0,2409   | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m              | 5,00                        | -5,00 – 10,00              | 0,3393   | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m              | 0,000046                    | -0,000005 – 25,00          | 0,3272   | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m              | 0,000077                    | -10,00 – 20,00             | 0,9539   | Semelhantes |

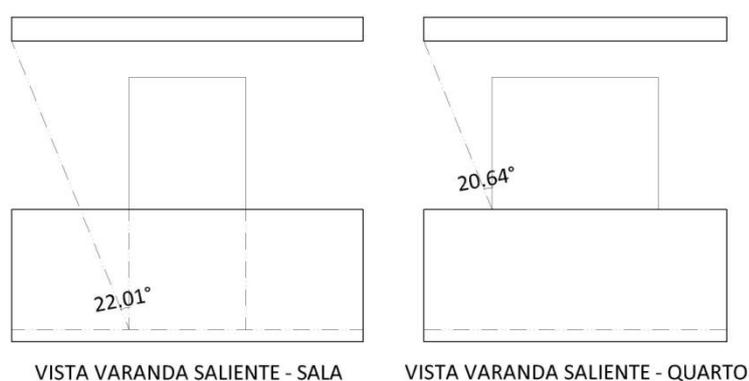
Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar as comparações das categorias das variáveis, pode-se afirmar que as variáveis pavimento, relação entre o componente de condução e o volume do edifício (varanda saliente ou encravada) influenciam na iluminação natural do ambiente. A **relação entre o componente de condução e o volume do edifício** (varanda saliente ou encravada) tem influência significativa na admissão da luz natural. Os modelos que apresentam abertura através de componentes de condução salientes têm melhor desempenho que os ambientes com aberturas através de componentes de condução encravados. A diferença estimada entre essas

condições é de aproximadamente 36,31 pontos percentuais, como se vê nos modelos 021 (varanda saliente, 1,20 m, orientação Sul, pavimento térreo) (Tabela 17) e 026 (varanda encravada, 1,20 m, orientação Sul, pavimento térreo) (Tabela 18). Assim como na Sala/quarto 01, essa observação deve-se, principalmente, ao fato de que, pela legislação, o afastamento deve ser considerado a partir da varanda, como resultado dessa exigência, o modelo com varanda saliente possui um afastamento maior entre o volume dos edifícios, como pode ser observado na Figura 25. O aumento do afastamento permite maior incidência da luz direta do Sol e aumenta a área visível de céu, o que proporciona maior incidência da luz natural.

Já a **altura do pavimento**, que nas combinações de modelos da Sala/quarto 01 apresenta-se como a variável que mais interfere na iluminação natural, no ambiente Quarto 02, aparece com menor influência, com diferença entre o térreo e o 4º pavimento estimada em 20 pontos percentuais (ver modelo 024 (varanda saliente, 2,50 m, orientação Oeste) na Tabela 17). Essa diferença é menos da metade do valor estipulado para o ambiente Sala/quarto 01, e pode ser atribuída às diferentes geometrias dos ambientes, como menor profundidade do Quarto 02, bem como à configuração da abertura de cada ambiente, que apresenta maior largura no Quarto 02, tornando a distribuição da  $INU_{100-3000lux} \geq 75\%$  mais uniforme no plano de trabalho e mais semelhante nos dois pavimentos, principalmente nos modelos com varanda saliente, por haver menor obstrução da abertura, como pode-se ver na Figura 28 que mostra o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) identificado nas varandas. Quanto menor o AVS, menor o sombreamento e a obstrução da abertura.

Figura 28 – Diferentes Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) gerados pela lateral da varanda.



Fonte: Elaboração própria.

Considerando-se o critério adotado, ao analisar todos os modelos desse ambiente, os critérios **orientação** e **profundidade** não apresentam diferenças significativas. Notou-se, porém, que esse resultado esconde as particularidades que podem ser percebidas ao analisar separadamente os modelos com varanda saliente e varanda encravada. Foram comparadas novamente as combinações das categorias das variáveis, exceto a relação entre o componente de condução e o volume do edifício (varanda saliente ou encravada). Os resultados desses testes de hipóteses estão apresentados nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução encravado.

| VARIÁVEIS                   | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P     | POPULAÇÕES  |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|
| Pavimento térreo x superior | 90,00                       | 60,00 – 90,00              | 0,000000045 | Diferentes  |
| Norte x Leste               | 0,0000034                   | -40,00 – 60,00             | 0,8467      | Semelhantes |
| Norte x Sul                 | 0                           | -40,00 – 40,00             | 1           | Semelhantes |
| Norte x Oeste               | 0,000042                    | -40,00 – 60,00             | 0,8467      | Semelhantes |
| Sul x Leste                 | -0,000035                   | -60,00 – 40,00             | 0,8771      | Semelhantes |
| Leste x Oeste               | 0                           | -50,00 – 50,00             | 1           | Semelhantes |
| Sul x Oeste                 | 0,000035                    | -40,00 – 50,00             | 0,8771      | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste | 0,0000066                   | -20,00 – 30,00             | 0,7713      | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m             | 0,000036                    | -40,00 – 60,00             | 0,4636      | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m             | 20,00                       | -40,00 – 90,00             | 0,3986      | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m             | 29,53                       | -30,00 – 100,00            | 0,09541     | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m             | 40,00                       | -0,00005 – 100,00          | 0,05994     | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m             | 0,00005                     | -60,00 – 90,00             | 0,5334      | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m             | 10,00                       | -50,00 – 100,00            | 0,09566     | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m             | 34,19                       | -25,00 – 100,00            | 0,09796     | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m             | 10,00                       | -80,00 – 100,00            | 0,2074      | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m             | 19,28                       | -50,0 – 100,00             | 0,2107      | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m             | 4,87                        | -60,00 – 90,00             | 0,3958      | Semelhantes |

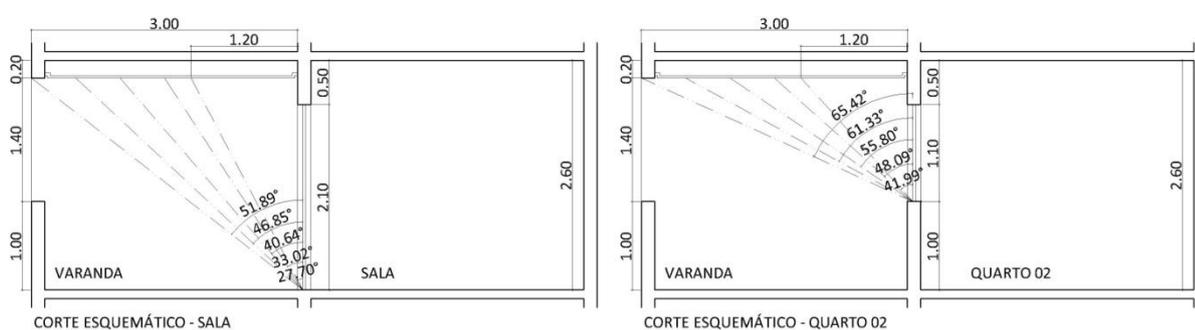
Fonte: Elaboração própria.

Para os modelos com componente de condução encravado, percebe-se que o **pavimento** é a variável de maior influência na iluminação natural, considerando-se o critério adotado. A diferença estimada entre os modelos do pavimento térreo e superior é de 90 pontos percentuais, como pode ser visto no modelo 027 (1,50 m, orientação Leste) (Tabela 18). Todos os modelos que apresentam iluminação natural insuficiente possuem varanda encravada e estão no pavimento térreo e metade desses modelos não apresentam  $INU_{100-3000lux} \geq 75\%$  em nenhum dos sensores simulados na altura do plano de trabalho, ou seja:

nos modelos com varandas de 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m, é necessário o acionamento do sistema de iluminação artificial em todo o período de uso (ver modelos 028, 029 e 030, pavimento térreo, na Tabela 18).

Levando-se em consideração o critério adotado, as demais variáveis não apresentam diferenças significativas na iluminação natural dos modelos do Quarto 02 com varanda encravada, provavelmente devido à obstrução da abertura, que é maior que na Sala/quarto 01, como pode-se perceber pela Figura 29. Pode-se notar que os valores do Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) da abertura nos modelos do ambiente Quarto 02 são superiores aos valores do AVS dos modelos do ambiente Sala/quarto 01. O valor máximo do AVS indicado pelo Manual do RTQ-C e RAC-C (LABEEE, 2010) é de  $45^\circ$  e, nesses dois ambientes simulados, apenas os modelos da Sala/quarto 01 com varanda de 1,20 m, 1,50 m e 2,00 m de profundidade e os modelos do Quarto 02 com varanda de 1,20 m de profundidade estão de acordo com o Manual do RTQ-C e RAC-C.

Figura 29 – Diferentes Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) gerados pela varanda.



Fonte: Elaboração própria.

A seguir, estão expostos os resultados obtidos nos testes de hipótese para os modelos com o componente de condução saliente. Assim como foram percebidas diferenças em relação às variáveis que influenciam a iluminação entre os resultados considerando todos os modelos e os modelos com componente de condução encravados, há diferenças ao considerar separadamente os modelos com componente de condução saliente, como pode-se perceber na Tabela 21.

Tabela 21 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução saliente.

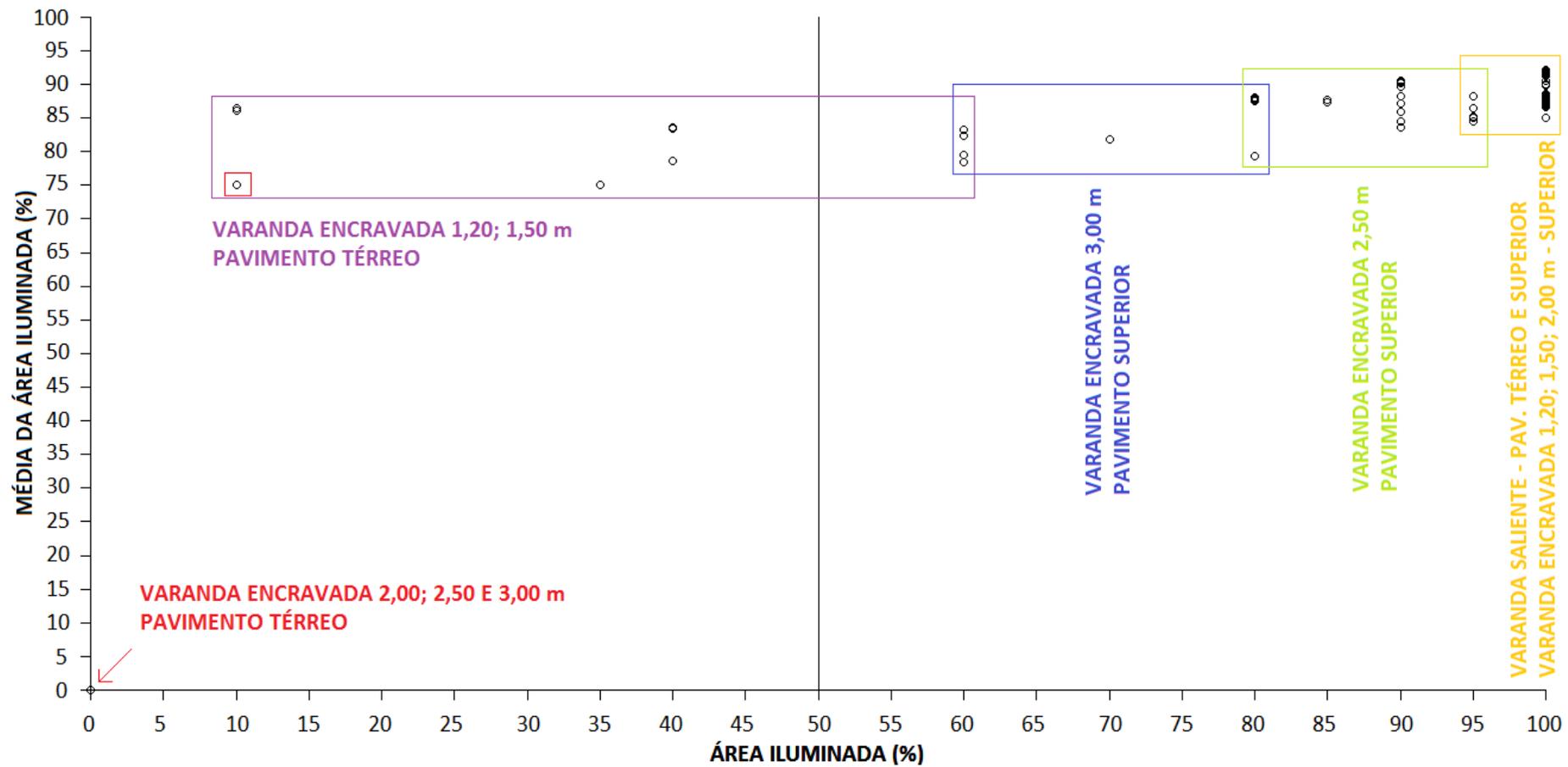
| VARIÁVEIS                   | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P  | POPULAÇÕES  |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------|
| Pavimento térreo x superior | 0,000015                    | -5,00 – 0,00013            | 0,2627   | Semelhantes |
| Norte x Leste               | 5,00                        | 0 – 15,00                  | 0,005886 | Diferentes  |
| Norte x Sul                 | 7,50                        | 5,00 – 10,00               | 0,00047  | Diferentes  |
| Norte x Oeste               | 0,00009                     | 0 – 20,00                  | 0,03442  | Semelhantes |
| Sul x Leste                 | 0,40                        | -10,00 – 5,00              | 0,7248   | Semelhantes |
| Leste x Oeste               | -0,00052                    | -10,00 – 5,00              | 0,7137   | Semelhantes |
| Sul x Oeste                 | -5,00                       | -10,00 – 10,00             | 0,3467   | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste | 0,000034                    | 0,000012 – 10,00           | 0,3519   | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m             | -0,000038                   | -10,00 – 5,00              | 0,7404   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m             | -0,00005                    | -10,00 – 10,00             | 0,9121   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m             | -0,000086                   | -10,00 – 10,00             | 0,8255   | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m             | -5,00                       | -10,00 – 0,0000055         | 0,2345   | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m             | 0,000043                    | -10,00 – 10,00             | 0,91     | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m             | 0                           | -10,00 – 10,00             | 0,955    | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m             | -0,000045                   | -10,00 – 0,000054          | 0,4487   | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m             | -0,000052                   | -10,00 – 10,00             | 0,955    | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m             | -0,000046                   | -15,00 – 0,000012          | 0,4154   | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m             | -0,00006                    | -10,00 – 0,000048          | 0,4158   | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se notar que a variável que apresenta influência na iluminação natural, considerando-se o parâmetro adotado, é a **orientação**, ainda assim, apenas a orientação Norte apresenta diferenças significativas em relação às orientações Leste e Sul. A orientação Norte apresenta melhores resultados em relação a essas duas. A diferença esperada entre os modelos com orientação Norte e Leste é de 5 pontos percentuais, como acontece no modelo 025 (3,00 m, pavimento térreo) (Tabela 17). Entre modelos com orientação Norte e Sul é esperada uma diferença de 7,50 pontos percentuais, num intervalo que vai de 5 a 10 pontos percentuais, como nota-se no modelo 022 (1,50 m, pavimentos térreo e superior). As demais variáveis não apresentam diferenças significativas de acordo com critério adotado, em razão da menor obstrução que esse tipo de varanda gera, como pode ser notado na Figura 28, já comentada anteriormente.

Na Figura 30, está apresentado o gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada para cada um dos 80 modelos do Quarto 02. Os dados desse gráfico estão nas Tabelas 17 e 18.

Figura 30 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos do Quarto 02.



Fonte: Elaboração própria.

A partir desse gráfico, pode-se observar a existência de diferenças da média da área iluminada entre os modelos que apresentam a mesma área iluminada, além de perceber quais modelos apresentam melhores e piores resultados. Os modelos com melhor aproveitamento da luz natural, considerando-se o parâmetro adotado, são aqueles que possuem a varanda saliente, independentemente da profundidade e da altura do pavimento e os que possuem varanda encravada de 1,20 m, 1,50 m e 2,00 m no pavimento superior. Os modelos com resultados mais baixos são os do pavimento térreo com varanda encravada de 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m de profundidade.

Assim como na Sala/quarto 01, os modelos com menor obstrução na abertura têm resultados melhores (maior área iluminada e maior média), como o modelo 021 (varanda saliente, 1,20 m, orientação Norte, pavimento superior) (Tabela 17), enquanto os modelos com piores resultados são os que apresentam a abertura mais obstruída, que não apresentaram sensor algum com  $INU100-3000lux \geq 75\%$ , como o modelo 028 (2,00 m, orientação Oeste, pavimento térreo) (Tabela 18)

Os fechamentos laterais do componente de condução e a altura do pavimento destacam-se como variáveis que contribuem significativamente nos níveis de iluminação natural dos espaços internos.

### 3.2.3. Quarto de empregados

O quarto de empregados tem 80 diferentes combinações das variáveis e os resultados mostram que há menor aproveitamento da iluminação natural, bem como da área iluminada em relação aos modelos dos ambientes da Sala/quarto 01 e Quarto 02. 40% dos modelos apresentam iluminação natural insuficiente, ou seja, 32 combinações apresentam menos da metade da área do ambiente com  $INU100-3000 lux$  em pelo menos 75% do período no qual há disponibilidade de iluminação natural na cidade de João Pessoa (Tabelas 22 e 23). Estão destacados em cinza os modelos que apresentam iluminação natural insuficiente.

Tabela 22 – Porcentagem da área dos modelos com a Circulação Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |      |   |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|------|---|
| 031   | 1,20 m | N   | 1                        | 0                            | 100,00       | 84,52            | 6,34                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | L   | 1                        | 30,00                        | 70,00        | 84,71            | 5,20                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 0                            | 100,00       | 83,90            | 6,43                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 30,00                        | 70,00        | 84,00            | 5,44                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 90,45            | 1,23                      | 0     |      |   |
|   |        | 032 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 0                | 100,00                    | 83,35 | 6,72 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 91,00 | 0    | 0 |
| L   | 1      |     |                          | 20,00                        | 80,00        | 83,50            | 6,06                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 91,00            | 0                         | 0     |      |   |
| S   | 1      |     |                          | 5,00                         | 95,00        | 84,78            | 6,09                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 90,90            | 0,30                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 30,00                        | 70,00        | 84,07            | 5,29                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 90,20            | 1,39                      | 0     |      |   |
| 033   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 5,00             | 95,00                     | 84,57 | 6,23 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 91,00 | 0    | 0 |
|   |        | L   | 1                        | 25,00                        | 75,00        | 85,06            | 5,77                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 5,00                         | 95,00        | 84,84            | 5,99                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 90,85            | 0,36                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 25,00                        | 75,00        | 83,40            | 5,84                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 90,45            | 1,43                      | 0     |      |   |
|   |        | 034 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 0                | 100,00                    | 85,35 | 6,41 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 91,00 | 0    | 0 |
| L   | 1      |     |                          | 20,00                        | 80,00        | 86,18            | 5,23                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 91,00            | 0                         | 0     |      |   |
| S   | 1      |     |                          | 0                            | 100,00       | 84,85            | 6,50                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 90,80            | 0,52                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 20,00                        | 80,00        | 84,06            | 5,75                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 90,40            | 1,42                      | 0     |      |   |
| 035   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 5,00             | 95,00                     | 85,94 | 5,95 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 91,00 | 0    | 0 |
|   |        | L   | 1                        | 0                            | 100,00       | 97,15            | 2,99                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 99,20            | 0,41                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 0                            | 100,00       | 85,55            | 5,68                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 90,80            | 0,52                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 0                            | 100,00       | 95,65            | 4,18                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 98,95            | 0,68                      | 0     |      |   |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 23 – Porcentagem da área dos modelos com a Circulação Encravada Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |   | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |   |   |
|---|--------|---|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|---|---|
| 036   | 1,20 m | N | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 85,70            | 3,81                      | 0 |   |
|   |        | L | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 86,15            | 3,21                      | 0 | 0 |
|   |        | S | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 85,85            | 3,81                      | 0 | 0 |
|   |        | O | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 86,15            | 2,18                      | 0 | 0 |
| 037   | 1,50 m | N | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        |   | 4                        | 5,00                         | 95,00        | 77,63            | 4,52                      | 0 |   |
|   |        | L | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 80,73            | 4,85                      | 0 | 0 |
|   |        | S | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 5,00                         | 95,00        | 77,89            | 4,60                      | 0 | 0 |
|   |        | O | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 0                            | 100,00       | 80,85            | 3,96                      | 0 | 0 |
| 038   | 2,00 m | N | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        |   | 4                        | 80,00                        | 20,00        | 75,00            | 0                         | 0 |   |
|   |        | L | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 80,00                        | 20,00        | 75,00            | 0                         | 0 |   |
|   |        | S | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 80,00                        | 20,00        | 75,00            | 0                         | 0 |   |
|   |        | O | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 80,00                        | 20,00        | 75,00            | 0                         | 0 |   |
| 039   | 2,50 m | N | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        |   | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        | L | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        | S | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        | O | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
| 040   | 3,00 m | N | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        |   | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        | L | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        | S | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |
|   |        | O | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 | 0 |
|   |        |   | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |

Fonte: Elaboração própria.

Com o objetivo de verificar quais variáveis afetam mais a disponibilidade da iluminação natural do Quarto de empregados, foram realizados testes de hipóteses a partir dos valores, em porcentagem, da área iluminada dos ambientes ( $INU_{100-3000 \text{ lux}} \geq 75\%$ ) para cada uma das combinações das variáveis. Foram estabelecidas comparações iniciais entre as categorias das variáveis, associando os dados das Tabelas 22 e 23, feitas duas a duas para as categorias das variáveis. Os resultados dessas comparações estão apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos.

| VARIÁVEIS                       | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P                | POPULAÇÕES  |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| Circulação saliente x encravada | 95,00                       | 80,00 – 100,00             | $1,59 \times 10^{-10}$ | Diferentes  |
| Pavimento térreo x superior     | 20,00                       | 0,000048 – 30,00           | 0,0002654              | Diferentes  |
| Norte x Leste                   | 0,000018                    | -0,000051 – 20,00          | 0,7402                 | Semelhantes |
| Norte x Sul                     | 0                           | -5,00 – 5,00               | 1                      | Semelhantes |
| Norte x Oeste                   | 0,000018                    | -0,00005 – 25,00           | 0,7402                 | Semelhantes |
| Sul x Leste                     | 0,000018                    | -0,00005 – 20,00           | 0,7402                 | Semelhantes |
| Leste x Oeste                   | 0                           | -20,00 – 20,00             | 0,9543                 | Semelhantes |
| Sul x Oeste                     | 0,000018                    | -5,00 – 25,00              | 0,7402                 | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste     | 0,000025                    | -0,000086 – 15,00          | 0,6261                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m                 | 0,000038                    | -0,00002 – 5,00            | 0,5773                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m                 | 5,00                        | -0,0000038 – 80,00         | 0,1582                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m                 | 0,000013                    | -0,0000011 - 100,00        | 0,1639                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m                 | 0,00001                     | -0,000042 – 100,00         | 0,2292                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m                 | 5,00                        | -0,000033 – 75,00          | 0,2676                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m                 | 0,000055                    | -0,00002 – 10,00           | 0,2052                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m                 | 5,00                        | -0,000034 – 95,00          | 0,5031                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m                 | 0,000009                    | -5,00 – 20,00              | 0,7676                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m                 | 0,000024                    | -25,00 – 20,00             | 0,9211                 | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m                 | 0,000085                    | -20,00 – 0,000017          | 0,8504                 | Semelhantes |

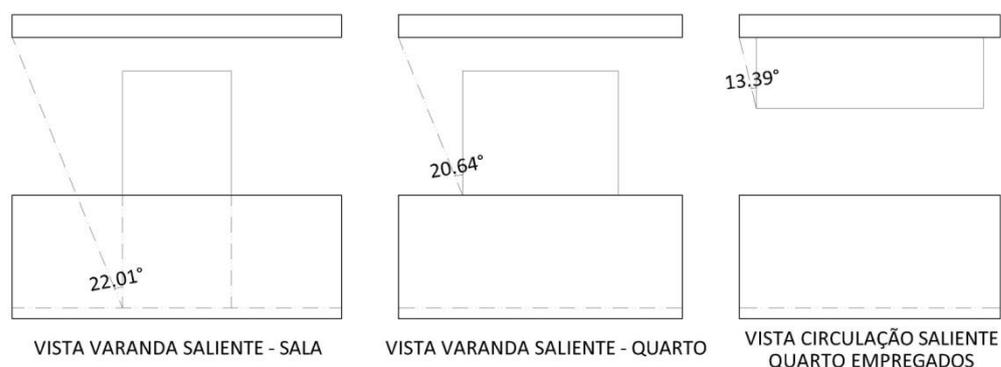
Fonte: Elaboração própria.

A partir da análise dos testes de hipóteses com os dados de todos os modelos desse ambiente e considerando o critério adotado, pode-se afirmar que as variáveis pavimento e relação entre o componente de condução e o volume do edifício (circulação saliente ou encravada) influenciam na iluminação natural do Quarto de empregados. A **relação entre o componente de condução e o volume do edifício** (circulação saliente ou encravada) tem influência significativa na admissão da luz natural, o que garante aos modelos que apresentam abertura através de componentes de condução salientes melhor desempenho que os ambientes

com aberturas através de componentes de condução encravados. A diferença estimada entre essas duas condições é de 95 pontos percentuais, como se vê nos modelos 033 (circulação saliente, 2,00 m, orientação Sul, pavimento térreo) (Tabela 22) e 038 (circulação encravada, 2,00 m, orientação Sul, pavimento térreo) (Tabela 23). Esse comportamento é justificado pelo fato de o afastamento dever ser considerado a partir da circulação, conseqüentemente, o modelo com circulação saliente possui afastamento maior entre o volume dos edifícios, como pode ser observado na Figura 25. O aumento do afastamento permite maior incidência da luz direta do Sol e aumenta a área visível de céu, o que proporciona maior incidência da luz natural. Também pode-se observar esse mesmo comportamento na Sala/quarto 01 e no Quarto 02. A diferença estimada entre os dois pavimentos analisado é bem maior do que nos outros ambientes analisados, pois todos os modelos com circulação encravada do térreo apresentam valor 0 para a área com iluminação natural no intervalo  $INU_{100-3000} \text{ lux} \geq 75\%$ .

Já a **altura do pavimento**, que nas combinações de modelos da Sala/quarto 01 apresenta-se como a variável que mais interfere na iluminação natural, no ambiente Quarto de empregados, assim como no ambiente Quarto 02, aparece com menor influência, com valor estimado de diferença entre o térreo e o 4º pavimento de 20 pontos percentuais (ver modelo 034 (circulação saliente, 2,50 m, orientação Oeste) na Tabela 22). Essa diferença é menos da metade do valor estipulado para o ambiente Sala/quarto 01, e igual ao valor estimado para o ambiente Quarto 02. As diferentes geometrias dos ambientes e configurações das aberturas podem ser a explicação de diferença. Tanto no Quarto 02, como no Quarto de empregados, as janelas possuem largura maior do que a da janela da Sala/quarto 01, o que proporciona mais uniformidade na distribuição da  $INU_{100-3000} \text{ lux} \geq 75\%$  no plano de trabalho, principalmente nos modelos com varanda saliente, por haver menor obstrução da abertura. Na Figura 31, pode-se observar o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) das aberturas dos ambientes em análise, decorrente do tipo de componente de condução –quanto menor o AVS, menor o sombreamento e a obstrução da abertura.

Figura 31 - Diferentes Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) gerados pela lateral do componente de condução.



Fonte: Elaboração própria.

As variáveis **orientação** e **profundidade** não apresentam diferenças significativas, considerando-se o critério adotado, ao analisar todos os modelos desse ambiente. Porém, nota-se que há disparidade nos dados dos modelos desse ambiente em razão da variável relação entre o componente de condução e o volume do edifício (circulação saliente ou encravada). Isso fica claro ao observar os dados dos modelos do pavimento térreo com circulação encravada de 1,20 m, 1,50 m e 2,00 m de profundidade e os modelos com circulação encravada de 2,50 m e 3,00 m (Tabela 23), que não apresentam iluminação natural suficiente em qualquer área do ambiente, enquanto todos os modelos com circulação saliente apresentam iluminação natural suficiente. Por essa razão, foram realizados testes de hipóteses, comparando as combinações das categorias das variáveis, a exceção da relação entre o componente de condução e o volume do edifício (circulação saliente ou encravada). Os resultados desses testes de hipóteses estão apresentados nas Tabelas 25 e 26.

Tabela 25 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução encravado.

| VARIÁVEIS                   | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%)               | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P  | POPULAÇÕES  |
|-----------------------------|---|----------------------------|----------|-------------|
| Pavimento térreo x superior | 20,00                                     | 0,000052 – 95,00           | 0,000063 | Diferentes  |
| Norte x Leste               | -0,000003                                 | -5,00 – 23,25              | 0,9627   | Semelhantes |
| Norte x Sul                 | 0   | -0,00004 – 0,00004         | 1        | Semelhantes |
| Norte x Oeste               | -0,000003                                 | -23,25 – 5,00              | 0,9627   | Semelhantes |
| Sul x Leste                 | 0,000003                                  | -23,25 – 5,00              | 0,9627   | Semelhantes |
| Leste x Oeste               | 0   | -0,00002 – 0,00002         | 1        | Semelhantes |
| Sul x Oeste                 | -0,000003                                 | -5,00 – 23,25              | 0,9627   | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste | -0,000003                                 | -0,000024 – 0,00001        | 0,9067   | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m             | 0,000027                                  | -95,00 – 100,00            | 0,6854   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m             | 40,00                                     | -20,00 – 100,00            | 0,3921   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m             | 50,00                                     | 0 – 100,00                 | 0,0303   | Diferentes  |
| 1,20 m x 3,00 m             | 50,00                                     | 0 – 100,00                 | 0,0303   | Diferentes  |
| 1,50 m x 2,00 m             | 36,37                                     | -20,00 – 95,00             | 0,3954   | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m             | 43,05                                     | 0 – 100,00                 | 0,03204  | Diferentes  |
| 1,50 m x 3,00 m             | 43,05                                     | 0 – 100,00                 | 0,03204  | Diferentes  |
| 2,00 m x 2,50 m             | 10,00                                     | 0 – 20,00                  | 0,0303   | Diferentes  |
| 2,00 m x 3,00 m             | 10,00                                     | 0 – 20,00                  | 0,0303   | Diferentes  |
| 2,50 m x 3,00 m             | Não é possível comparar por serem iguais. |                            |          |             |

Fonte: Elaboração própria.

Para os modelos com componente de condução encravado, confirma-se que a variável **pavimento** interfere na iluminação natural do Quarto de empregados. A diferença estimada entre os modelos do pavimento térreo e superior é de 20 pontos percentuais, como pode ser visto no modelo 038 (2,00 m, orientação Leste) (Tabela 23). Todos os modelos com componente de condução encravado do pavimento térreo apresentam iluminação natural insuficiente, considerando-se o critério adotado, e nenhum dos sensores desses modelos apresenta  $INU100-3000lux \geq 75\%$ , o que significa que é necessário o acionamento do sistema de iluminação artificial em todo o período de uso desses ambientes (como exemplos, os modelos 036, 037, 038, 039 e 040, pavimento térreo, na Tabela 23).

Nos modelos com componente de condução encravado, a influência da **profundidade** do componente de condução é significativa e, assim como na Sala/quarto 01, pode ser percebida nos modelos que têm diferença de pelo menos um metro de comprimento: pode-se observar diferenças do modelo de 1,20 m em relação aos modelos de 2,50 m e 3,00m; do modelo de 1,50 m em relação aos modelos de 2,50 m e 3,00 m; do modelo de 2,00 m em relação ao de 3,00m. Ou seja, os modelos com profundidade de 1,20 m, 1,50 m e 2,00 m

apresentam diferenças desconsideráveis entre si, pois os modelos do pavimento térreo têm resultados iguais, como percebe-se nos modelos 036 (1,20 m, orientação Leste, pavimento térreo) (Tabela 23), 037 (1,50 m, orientação Sul, pavimento térreo) (Tabela 23) e 038 (2,00 m, orientação Oeste, pavimento térreo) (Tabela 23).

Os modelos com profundidades de 2,50 m e 3,00 m apresentam resultados iguais independentemente das outras variáveis, como se vê nos modelos 039 (2,50 m) e 040 (3,00 m), ambos na Tabela 23. A diferença estimada entre os modelos de 1,20 m e de 2,50 m e 3,00 m é de 50 pontos percentuais, com intervalo de confiança entre 0 e 100 pontos percentuais (os modelos do pavimento terreno não apresentam diferenças enquanto os modelos do pavimento superior apresentam diferença de 100 pontos percentuais). Esse mesmo comportamento pode ser percebido ao comparar os modelos de 1,50 m com os de 2,50 m e 3,00 m, que têm diferença estimada em 43,05 pontos percentuais. Entre os modelos com circulação de 2,00 m e 2,50 m e 3,00 m, a diferença esperada é de 10 pontos percentuais, com intervalo de confiança entre 0 e 20 pontos percentuais, como vê-se nos modelos 038 (2,00 m, orientação Leste, pavimento térreo), 039 (2,50 m, orientação Leste, pavimento térreo) e 040 (3,00 m, orientação Leste, pavimento térreo) (Tabela 23).

Levando-se em consideração o critério adotado, a variável **orientação** não apresenta diferença significativa na iluminação natural dos modelos do Quarto de empregados com circulação encravada, assim como no Quarto 02. Isso ocorre provavelmente devido à obstrução da abertura, que é maior que na Sala/quarto 01, como pode-se perceber pela Figura 32. Em todos os modelos desse ambiente, o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) gerado pelo componente de condução na abertura é superior ao valor máximo de  $45^\circ$  indicado pelo Manual do RTQ-C e RAC-C (LABEEE, 2010).

Figura 32 – Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) das aberturas.



Fonte: Elaboração própria.

A seguir, estão expostos os resultados obtidos para os modelos com o componente de condução saliente. Assim como foram percebidas diferenças em relação à variável componente de condução encaixado, há diferenças ao considerar separadamente os modelos com componente de condução saliente, como pode-se perceber na Tabela 26.

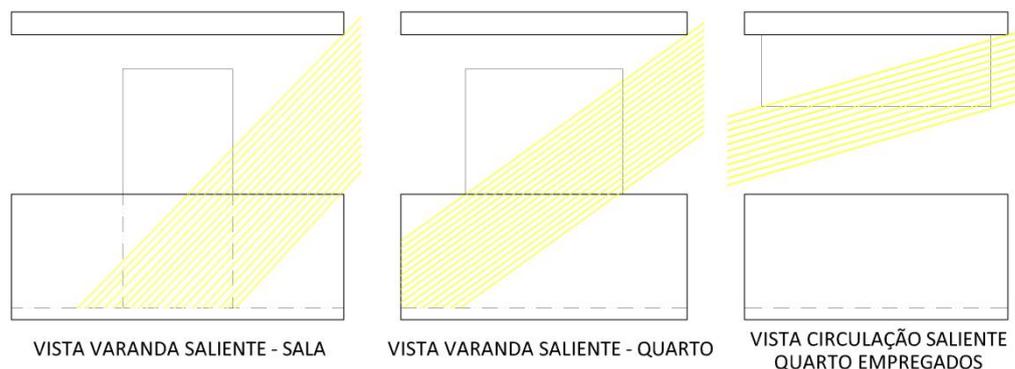
Tabela 26 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução saliente.

| VARIÁVEIS                   | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P  | POPULAÇÕES  |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------|-------------|
| Pavimento térreo x superior | 5,00                        | 20,00 – 0,000057           | 0,000065 | Diferentes  |
| Norte x Leste               | 0,00006                     | –0,000094 – 20,00          | 0,2078   | Semelhantes |
| Norte x Sul                 | 0                           | –0,000024 – 10,00          | 0,05792  | Semelhantes |
| Norte x Oeste               | 0,00007                     | –0,000017 – 25,00          | 0,2078   | Semelhantes |
| Sul x Leste                 | 0,00006                     | –0,000094 – 20,00          | 0,2078   | Semelhantes |
| Leste x Oeste               | 0,000028                    | –10,00 – 10,00             | 0,8639   | Semelhantes |
| Sul x Oeste                 | –0,00007                    | –0,000017 – 25,00          | 0,2078   | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste | 5,55                        | –0,000016 – 20,00          | 0,06369  | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m             | 0,0000087                   | –10,00 – 5,00              | 0,8475   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m             | 0,000061                    | –5,00 – 5,00               | 0,6719   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m             | –0,000057                   | –10,00 – 0,000038          | 0,8356   | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m             | –0,000018                   | –25,00 – 0,00002           | 0,4875   | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m             | 0,000034                    | –5,00 – 5,00               | 0,7713   | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m             | –0,000046                   | –10,00 – 0,000041          | 0,6535   | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m             | –0,00005                    | –20,00 – 0,000043          | 0,2403   | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m             | –0,000024                   | –5,00 – 0,000046           | 0,364    | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m             | –0,000082                   | –25,00 – 0,00005           | 0,1085   | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m             | –0,00001                    | –15,00 – 0,00004           | 0,4875   | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

A variável **pavimento** é a única que influencia na iluminação natural nos modelos com circulação saliente, porém a diferença estimada é de apenas cinco pontos percentuais, como se pode notar no modelo 035 (3,00 m, orientação Norte) (Tabela 22). As demais variáveis não apresentam diferenças significativas de acordo com critério adotado, em razão da menor obstrução da visão do céu, obtida com essa solução (como apresentado na Figura 31). Os valores observados nos modelos que associam o componente de condução saliente à uma janela são maiores que os observados nos modelos que apresentam uma porta como abertura, pois o peitoril pode sombrear a abertura, como se pode ver na Figura 33.

Figura 33 – Possibilidade de incidência da radiação solar direta nas diferentes aberturas.

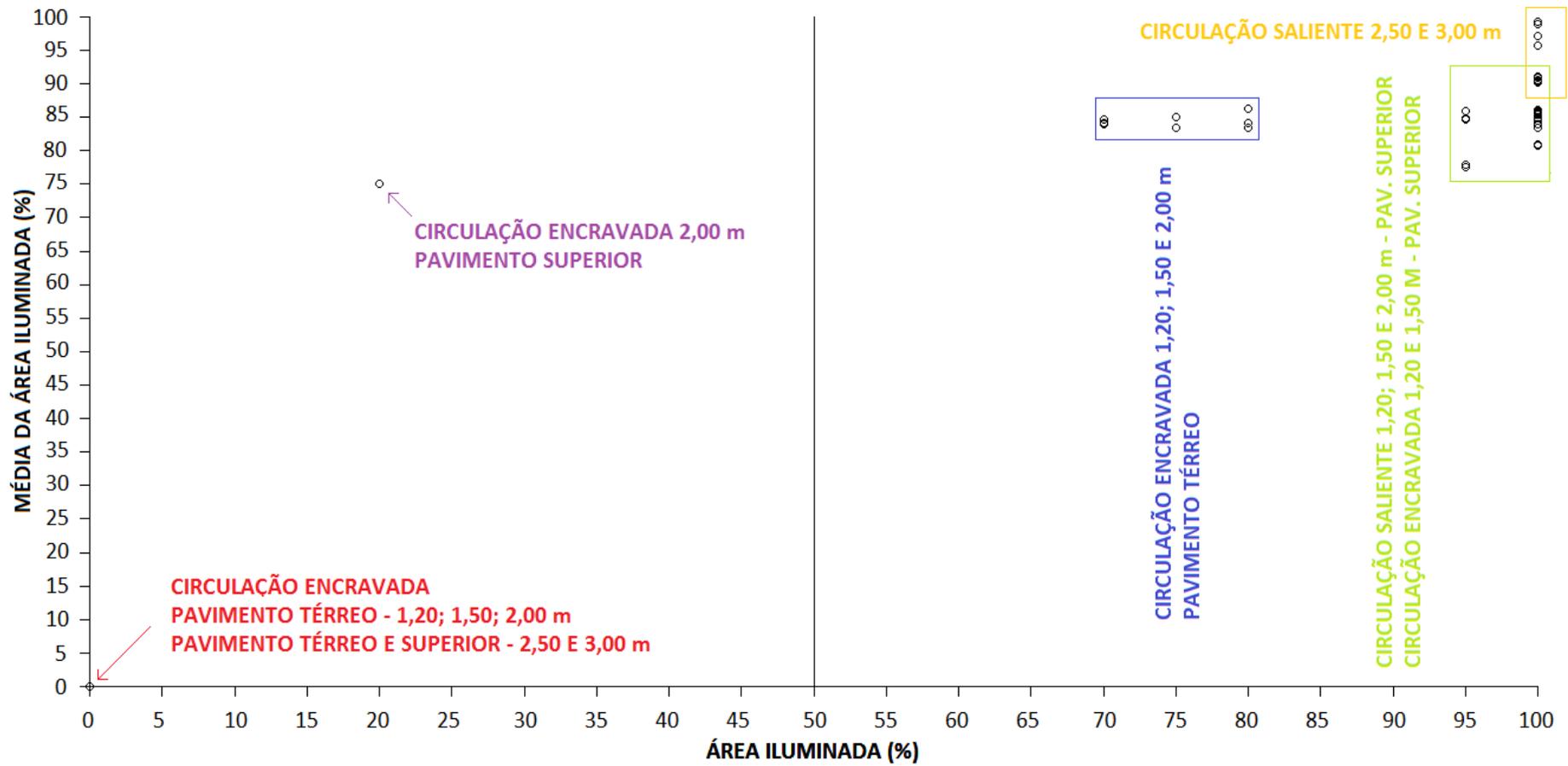


Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 34, está apresentado o gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada para cada um dos 80 modelos do Quarto 02. Os dados desse gráfico estão nas Tabelas 22 e 23.

Assim como na Sala/quarto 01 e no Quarto 02, os modelos com menor obstrução na abertura, têm resultados melhores de aproveitamento da luz natural, com mais área iluminada por mais tempo, considerando o critério adotado, como o modelo 035 (circulação saliente, 3,00 m, orientação Leste, pavimento superior) (Tabela 22). Já os modelos com piores desempenhos são os do térreo que possuem circulação encravada de 1,20 m, 1,50 m e 2,00 m e os dos dois pavimentos quando a profundidade da circulação é entre 2,50 m e 3,00 m (Tabela 23).

Figura 34 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos do Quarto de empregados.



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se concluir que a associação de componentes de condução encravados e janelas altas não resulta em boa performance da iluminação natural. Observa-se ainda que nenhuma combinação apresentada com componente de condução encravado está de acordo com a recomendação do Manual do RTQ-C e RAC-C (LABEEE, 2010) em relação ao Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) máximo de 45°.

As variáveis que interferem significativamente na iluminação natural nos modelos desse ambiente são os fechamentos laterais do componente de condução e a altura do pavimento; apenas nos modelos com componente de condução encravado, percebe-se, ainda, influência da profundidade.

#### 3.2.4. Cozinha

Na cozinha observou-se menor possibilidade de aproveitamento da iluminação natural, bem como da área iluminada, comparando-se com os ambientes Sala/quarto 01, Quarto 02 e Quarto de empregados. 57,5% dos modelos apresentam iluminação natural insuficiente, ou seja, 46 combinações apresentam menos da metade da área do ambiente com INU100-3000 lux em pelo menos 75% do período no qual há disponibilidade de iluminação natural na cidade de João Pessoa. Nas Tabelas 27 e 28, correspondentes à análise da cozinha, estão destacados em cinza os modelos que apresentam iluminação natural insuficiente.

Tabela 27 – Porcentagem da área dos ambientes com a Circulação Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |      |   |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|------|---|
| 041   | 1,20 m | N   | 1                        | 13,33                        | 86,67        | 84,23            | 6,32                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | L   | 1                        | 40,00                        | 60,00        | 84,33            | 5,24                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 91,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 13,33                        | 86,67        | 84,07            | 6,03                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 90,66            | 0,48                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 40,00                        | 60,00        | 82,77            | 5,73                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 89,20            | 1,89                      | 0     |      |   |
|   |        | 042 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 20,00            | 80,00                     | 83,66 | 6,18 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 90,86 | 0,35 | 0 |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 33,33            | 66,67                     | 84,40 | 5,94 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 90,86 | 0,35 | 0 |
| S   | 1      |     |                          | 13,33                        | 86,67        | 84,23            | 6,07                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 90,73            | 0,45                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 33,33                        | 66,67        | 83,40            | 5,79                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 90,20            | 1,65                      | 0     |      |   |
| 043   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 20,00            | 80,00                     | 85,58 | 6,14 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 90,86 | 0,35 | 0 |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 20,00            | 80,00                     | 83,33 | 6,98 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 91,00 | 0    | 0 |
|   |        | S   | 1                        | 13,33                        | 86,67        | 84,84            | 6,50                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 90,73            | 0,45                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 26,66                        | 73,34        | 83,09            | 6,83                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 90,13            | 1,76                      | 0     |      |   |
|   |        | 044 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 6,66             | 93,34                     | 84,42 | 6,45 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 91,00 | 0    | 0 |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 20,00            | 80,00                     | 83,58 | 6,76 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 90,93 | 0,25 | 0 |
| S   | 1      |     |                          | 13,33                        | 86,67        | 85,53            | 6,17                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 90,73            | 0,45                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 26,66                        | 73,34        | 83,18            | 6,19                      | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 90,00            | 2,20                      | 0     |      |   |
| 045   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 6,66             | 93,34                     | 84,78 | 6,68 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 90,86 | 0,35 | 0 |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 20,00            | 80,00                     | 84,91 | 6,35 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 0                | 100,00                    | 90,86 | 0,35 | 0 |
|   |        | S   | 1                        | 6,66                         | 93,34        | 85,07            | 6,46                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 90,60            | 0,50                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 33,33                        | 66,67        | 85,80            | 5,18                      | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 89,93            | 2,21                      | 0     |      |   |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 28 – Porcentagem da área dos ambientes com a Circulação Encravada Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |      |   |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|------|---|
| 046   | 1,20 m | N   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         |       |      |   |
|   |        |     | 4                        | 6,66                         | 93,34        | 77,71            | 4,04                      | 0     |      |   |
|   |        | L   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 81,26            | 4,81                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 79,13            | 4,31                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 13,33                        | 86,67        | 84,00            | 2,19                      | 0     |      |   |
|   |        | 047 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 53,33            | 46,67                     | 75,14 | 0,96 | 0 |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 53,33            | 46,67                     | 75,71 | 1,11 | 0 |
| S   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 46,66                        | 53,34        | 75,37            | 1,06                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 40,00                        | 60,00        | 77,66            | 2,83                      | 0     |      |   |
| 048   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        | S   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | 049 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
| S   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   | 4      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
| 050   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        | S   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     |      |   |

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados dos testes de hipóteses realizados a partir dos valores da área iluminada (INU100-3000 lux  $\geq$  75%), para os 80 modelos de cozinha analisados, estão apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos.

| VARIÁVEIS                       | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P                | POPULAÇÕES  |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| Circulação saliente x encravada | 86,67                       | 80,00 – 100,00             | $1,25 \times 10^{-12}$ | Diferentes  |
| Pavimento térreo x superior     | 20,00                       | 6,66 – 40,00               | 0,0003749              | Diferentes  |
| Norte x Leste                   | 0,00002                     | -6,66 – 20,00              | 0,8651                 | Semelhantes |
| Norte x Sul                     | -0,0000024                  | -6,67 – 6,67               | 0,8874                 | Semelhantes |
| Norte x Oeste                   | 0                           | -6,67 – 26,67              | 0,6826                 | Semelhantes |
| Sul x Leste                     | 0                           | -20,00 – 13,33             | 0,7227                 | Semelhantes |
| Leste x Oeste                   | 0,0000097                   | -20,00 – 26,66             | 0,8541                 | Semelhantes |
| Sul x Oeste                     | 0,000002                    | -6,66 – 26,67              | 0,6204                 | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste     | 0                           | -13,34 – 0,000053          | 0,6008                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m                 | 6,67                        | -6,67 – 40,00              | 0,3341                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m                 | 6,67                        | -0,000064 – 86,67          | 0,1804                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m                 | 6,66                        | -0,000042 – 86,67          | 0,2295                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m                 | 5,81                        | -0,000032 – 86,67          | 0,2617                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m                 | 0,000028                    | -20,00 – 53,34             | 0,6116                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m                 | 0,000041                    | -20,00 – 53,34             | 0,6534                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m                 | 0,000043                    | -20,00 – 53,34             | 0,6392                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m                 | 0                           | -20,00 – 13,33             | 0,9514                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m                 | 0                           | -20,00 – 6,67              | 0,9514                 | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m                 | 0                           | -13,33 – 6,67              | 1                      | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar que as variáveis pavimento e relação entre o componente de condução e o volume do edifício (circulação saliente ou encravada) influenciam na iluminação natural da Cozinha. A **relação entre o componente de condução e o volume do edifício** (circulação saliente ou encravada) tem influência significativa na admissão da luz natural, dessa forma, os modelos que apresentam abertura através de componentes de condução salientes têm melhor desempenho do que os ambientes com aberturas através de componentes de condução encravados. A diferença estimada entre essas duas condições é de 86,67 pontos percentuais, como vê-se nos modelos 041 (circulação saliente, 1,20 m, orientação Norte, pavimento térreo) (Tabela 27) e 046 (circulação encravada, 1,20 m, orientação Norte, pavimento térreo) (Tabela 28), em função do maior recuo entre os edifícios, como se vê na Figura 25. Esse mesmo comportamento pode ser observado na Sala/quarto 01,

no Quarto 02 e no Quarto de empregados. A diferença estimada dessa variável, na Cozinha, é menor que a verificada no Quarto de empregados e bem maior que nos outros ambientes analisados, pois, assim como no Quarto de empregados, todos os modelos com circulação encravada do térreo apresentam valor 0 para a área com iluminação natural no intervalo  $INU_{100-3000 \text{ lux}} \geq 75\%$ , porém os valores da INU verificados nos modelos desse ambiente com circulação saliente são menores que os verificados nos outros ambientes.

Na Cozinha, a variável **altura do pavimento** tem comportamento semelhante ao Quarto 02 e ao Quarto de empregados, apresentando influência menor que a verificada na Sala/quarto 01, devido às diferentes geometrias dos ambientes e também às diferentes configurações das aberturas desses ambientes, como pode-se ver na Figura 31 que mostra o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) gerado pela lateral dos componentes de condução salientes para esses três tipos diferentes de aberturas. O valor estimado da diferença entre o térreo e o 4º pavimento é de 20 pontos percentuais, como se vê no modelo 043 (circulação saliente, 2,00 m, orientação Norte) na (Tabela 27).

As variáveis **orientação** e **profundidade** não apresentam diferenças significativas, considerando-se o critério adotado, ao analisar todos os modelos desse ambiente. Porém, assim como no Quarto de empregados, nota-se que há disparidade nos dados dos modelos desse ambiente em razão da variável relação entre o componente de condução e o volume do edifício (circulação saliente ou encravada) e isso fica claro ao observar os dados dos modelos do pavimento térreo com circulação encravada de 1,20 m e 1,50 m de profundidade e todos os modelos com circulação encravada de 2,00 m, 2,50m e 3,00 m (Tabela 28), que não apresentam iluminação natural suficiente em qualquer área do ambiente, considerando-se o critério adotado, enquanto todos os modelos com circulação saliente apresentam iluminação natural suficiente. Por essa razão, foram realizados novamente os testes de hipóteses, comparando as combinações das categorias das variáveis, à exceção da relação entre o componente de condução e o volume do edifício (circulação saliente ou encravada). Os resultados desses testes de hipóteses estão apresentados nas Tabelas 30 e 31.

Tabela 30 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução encravado.

| VARIÁVEIS                   | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%)               | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P  | POPULAÇÕES  |
|-----------------------------|---|----------------------------|----------|-------------|
| Pavimento térreo x superior | 0,00005                                   | -46,67 – 0                 | 0,002081 | Semelhantes |
| Norte x Leste               | -0,000015                                 | -0,0000087 – 0,000086      | 1        | Semelhantes |
| Norte x Sul                 | 0,0000013                                 | -0,00002 – 0,000027        | 0,9569   | Semelhantes |
| Norte x Oeste               | -0,000051                                 | -0,00005 – 0,000024        | 1        | Semelhantes |
| Sul x Leste                 | 0   | -0,00002 – 0,000028        | 1        | Semelhantes |
| Leste x Oeste               | 0,000026                                  | -0,000018 – 0,000044       | 1        | Semelhantes |
| Sul x Oeste                 | 0,000026                                  | -0,000018 – 0,000044       | 1        | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste | 0   | -0,000033 – 0,000033       | 1        | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m             | 22,32                                     | -46,67 – 86,87             | 0,3994   | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m             | 43,04                                     | 0 – 100,00                 | 0,03225  | Diferentes  |
| 1,20 m x 2,50 m             | 43,04                                     | 0 – 100,00                 | 0,03225  | Diferentes  |
| 1,20 m x 3,00 m             | 43,04                                     | 0 – 100,00                 | 0,03225  | Diferentes  |
| 1,50 m x 2,00 m             | 24,18                                     | 0 – 53,34                  | 0,03225  | Diferentes  |
| 1,50 m x 2,50 m             | 24,18                                     | 0 – 53,34                  | 0,03225  | Diferentes  |
| 1,50 m x 3,00 m             | 24,18                                     | 0 – 53,34                  | 0,03225  | Diferentes  |
| 2,00 m x 2,50 m             | Não é possível comparar por serem iguais. |                            |          |             |
| 2,00 m x 3,00 m             | Não é possível comparar por serem iguais. |                            |          |             |
| 2,50 m x 3,00 m             | Não é possível comparar por serem iguais. |                            |          |             |

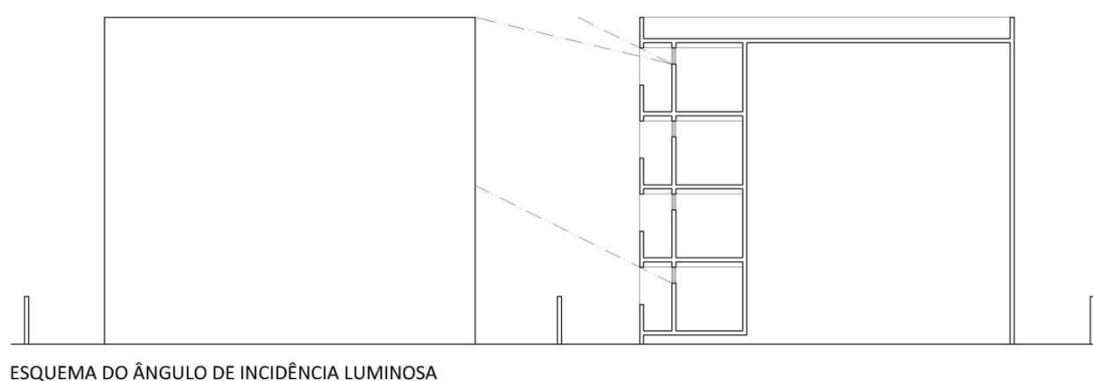
Fonte: Elaboração própria.

Nos modelos com componente de condução encravado, percebe-se diferenças significativas ao observar a variável **profundidade**, assim como na Sala/quarto 01 e Quarto de empregados. Em relação à essa variável, pode-se considerar os modelos com circulação de 1,20 m e 1,50 m iguais, por não apresentarem diferenças significativas entre si, assim como os modelos de 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m. A diferença estimada entre os modelos de 1,20 m e de 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m é de 43,03 pontos percentuais, com intervalo de confiança entre 0 e 100 pontos percentuais: os modelos do pavimento térreo não apresentam diferença e os do pavimento superior têm até 100 pontos percentuais de diferença, como nota-se nos modelos 046 (1,20 m, orientação Leste) e 048 (2,00 m, orientação Leste) (Tabela 28). Os modelos de 1,50 m apresentam resultado superior estimando em 24,18 pontos percentuais em relação aos modelos de 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m, com intervalo de confiança entre 0 e 53,34 pontos percentuais, como pode ser visto nos modelos 047 (1,50 m, orientação Sul) e 050 (3,00 m, orientação Sul) (Tabela 28).

Considerando-se o critério adotado, as variáveis **pavimento** e **orientação** não apresentam diferenças significativas na iluminação natural dos modelos da Cozinha com circulação encrava. A razão para a baixa influência dessas variáveis pode ser explicada pelo

fato desse ambiente ser iluminado através de uma janela alta que, associada ao elemento de condução adjacente, impede grande parte da visão do céu. A luz natural que penetra no ambiente é predominantemente refletida pelo entorno, como pode ser visto no esquema da Figura 35. Essa associação gera grande obstrução da abertura, por isso, 80% dos modelos com circulação encravada apresentam ambientes onde não há iluminação natural, o que também influencia os resultados das comparações das variáveis a mostrar diferenças desconsideráveis.

Figura 35 – Corte esquemático do ângulo de incidência luminosa dos ambientes com janela alta para os dois diferentes pavimentos analisados.



Fonte: Elaboração própria.

A seguir, na Tabela 31, estão expostos os resultados obtidos para os modelos com o componente de condução saliente.

Tabela 31 – Resultado do teste de hipótese dos modelos com componente de condução saliente.

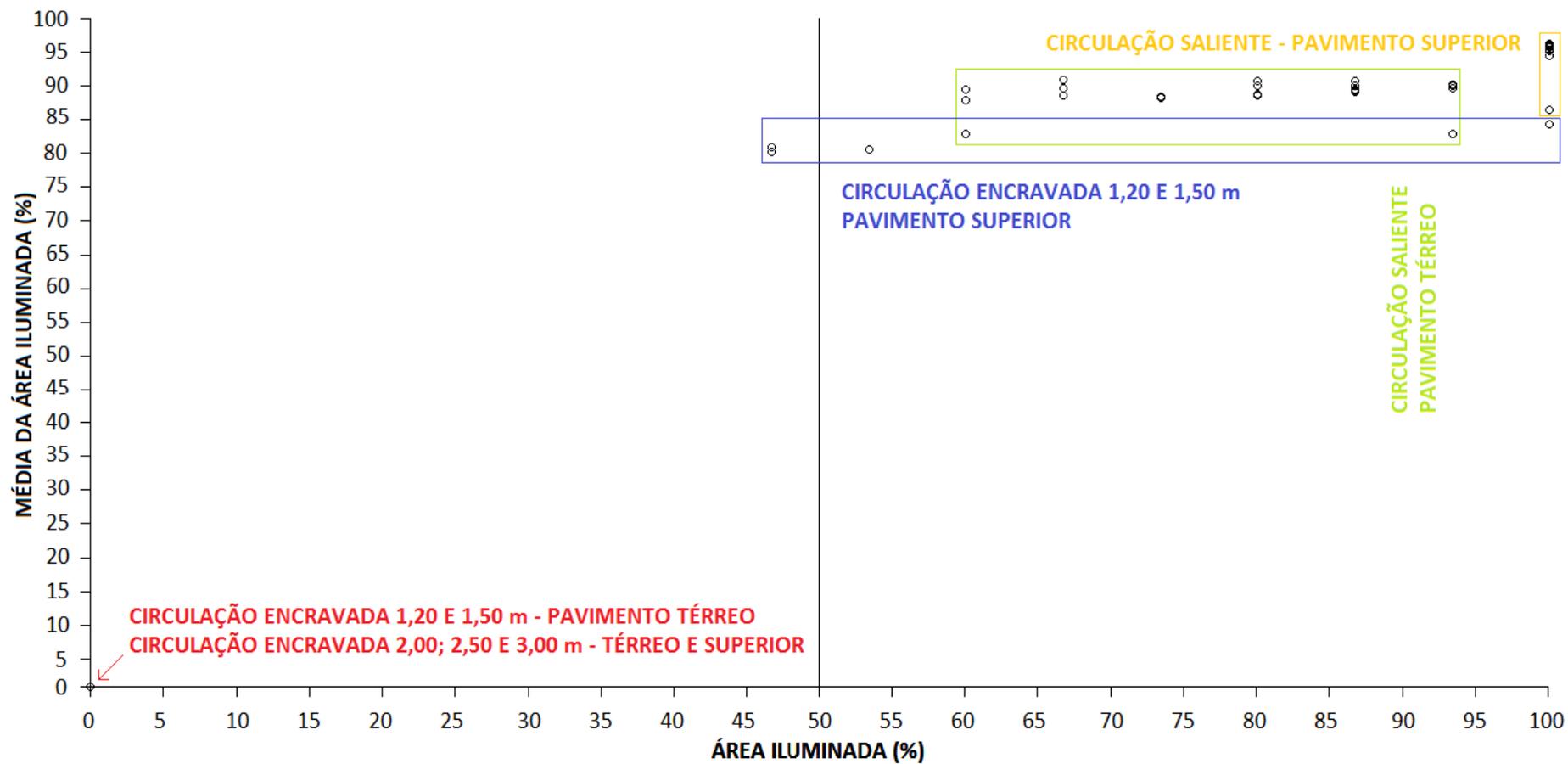
| VARIÁVEIS                   | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P                | POPULAÇÕES  |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| Pavimento térreo x superior | 20,00                       | 13,33 – 26,66              | 7,30x10 <sup>-09</sup> | Diferentes  |
| Norte x Leste               | 0,000047                    | -6,66 – 20,00              | 0,4632                 | Semelhantes |
| Norte x Sul                 | -0,000024                   | -6,67 – 6,67               | 0,9349                 | Semelhantes |
| Norte x Oeste               | 5,08                        | -6,66 – 26,66              | 0,3316                 | Semelhantes |
| Sul x Leste                 | -5,90                       | -20,00 – 6,66              | 0,3295                 | Semelhantes |
| Leste x Oeste               | 0                           | -20,00 – 26,66             | 0,7151                 | Semelhantes |
| Sul x Oeste                 | 11,45                       | -6,66 – 26,66              | 0,3299                 | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste | -0,000038                   | -20,00 – 0,00003           | 0,1776                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m             | -0,000013                   | -13,33 – 20,00             | 0,955                  | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m             | -0,00004                    | -20,00 – 13,33             | 0,955                  | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m             | -0,000063                   | -20,00 – 13,33             | 0,7782                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m             | -0,000031                   | -20,00 – 6,66              | 0,6939                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m             | -0,000023                   | -20,00 – 13,33             | 0,8216                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m             | -0,000012                   | -20,00 – 6,67              | 0,6939                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m             | -0,000027                   | -20,00 – 6,66              | 0,7352                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m             | 0                           | -13,34 – 6,67              | 0,8657                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m             | -0,000072                   | -20,00 – 6,66              | 0,8658                 | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m             | -0,000052                   | -13,33 – 6,67              | 1                      | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

A variável **pavimento** apresenta o mesmo comportamento verificado nos modelos dos ambientes Sala/quarto 01 e Quarto de empregados. Apenas essa variável influencia na iluminação natural dos modelos da Cozinha com circulação saliente. O valor estimado de diferença entre o térreo e o 4º pavimento é de 20 pontos percentuais, como se pode ver no modelo 043 (2,00 m, orientação Leste) (Tabela 27). Essa diferença pode ser explicada em razão da menor obstrução gerada pelo entorno construído, havendo maior visão do céu, como ilustra a Figura 35.

Na Figura 36, está apresentado o gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada para cada um dos 80 modelos da Cozinha. Os dados desse gráfico estão nas Tabelas 27 e 28.

Figura 36 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos da Cozinha.



Fonte: Elaboração própria.

A configuração da abertura dos modelos desse ambiente é a mesma dos modelos do Quarto de empregados – janela alta –, sendo essa a razão da semelhança entre os resultados desses dois ambientes. Dessa forma, os modelos com menor obstrução da abertura têm maior potencial de aproveitamento da iluminação natural, considerando-se o critério adotado, como o modelo 045 (circulação saliente, 3,00 m, orientação Leste, pavimento superior) (Tabela 27). Já os modelos com piores resultados são os do térreo que possuem circulação encravada, de 1,20 m e 1,50 m e os dos dois pavimentos quando a profundidade da circulação é de 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m. Esses modelos com pior desempenho não apresentaram sensor algum com  $INU100-3000lux \geq 75\%$ , como o modelo 049 (2,50 m, orientação Oeste, pavimento térreo) (Tabela 28).

Assim como no Quarto de empregados, interferem significativamente na iluminação natural dos modelos desse ambiente os fechamentos laterais do componente de condução e a altura do pavimento; apenas nos modelos com componente de condução encravado, percebe-se a influência da profundidade.

### 3.2.5. Banheiro

Das 80 combinações desse ambiente, apenas 20 apresentam iluminação natural suficiente ( $INU100-3000 lux \geq 75\%$ ). Isso significa que em 75% das combinações seria necessário o acionamento do sistema de iluminação artificial em todos os momentos em que houvesse utilização do ambiente. Assim como na Cozinha, a menor parte das combinações apresenta resultado satisfatório, o que denota que o problema maior é a proporção entre as áreas de abertura e de piso exigida pela legislação. Essa proporção parece estar muito aquém da ideal, principalmente se considerarmos que a configuração da abertura dos banheiros, os quais demandam privacidade, comumente é solucionada através de janela alta, configuração que, neste estudo, mostrou-se pouco eficiente na captação da luz natural quando utilizada associada a componentes de condução, principalmente, os encravados. Estão destacados em cinza os modelos que apresentam iluminação natural insuficiente.

Tabela 32 – Porcentagem da área dos ambientes com a Circulação Saliente Opaca que apresenta cada intervalo da escala da INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |       |      |   |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|-------|------|---|
| 051   | 1,20 m | N   | 1                        | 93,33                        | 6,67         | 87,00            | 0                         | 0     |      |   |
|   |        |     | 4                        | 20,00                        | 80,00        | 81,58            | 6,02                      | 0     |      |   |
|   |        | L   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 85,33            | 6,18                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 86,66                        | 13,34        | 75,00            | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 6,66                         | 93,34        | 83,71            | 5,81                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 0                            | 100,00       | 85,26            | 3,51                      | 0     |      |   |
|   |        | 052 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 26,66            | 73,34                     | 82,45 | 6,20 | 0 |
| L   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   | 4      |     |                          | 20,00                        | 80,00        | 81,91            | 5,61                      | 0     |      |   |
| S   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   | 4      |     |                          | 13,33                        | 86,67        | 85,38            | 5,40                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 86,66            | 4,68                      | 0     |      |   |
| 053   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0     | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 20,00            | 80,00                     | 82,33 | 6,08 | 0 |
|   |        | L   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 20,00                        | 80,00        | 82,58            | 5,75                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 86,66                        | 13,34        | 75,00            | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 20,00                        | 80,00        | 83,66            | 5,33                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 20,00                        | 80,00        | 85,00            | 4,22                      | 0     |      |   |
|   |        | 054 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 73,33            | 26,67                     | 75,00 | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 43,33            | 66,67                     | 81,60 | 5,85 | 0 |
| L   | 1      |     |                          | 93,33                        | 6,67         | 78,00            | 0                         | 0     | 0    |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 96,86            | 2,23                      | 0     |      |   |
| S   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   | 4      |     |                          | 6,66                         | 93,34        | 86,42            | 6,00                      | 0     |      |   |
| O   | 1      |     |                          | 93,33                        | 13,34        | 76,00            | 0                         | 0     | 0    |   |
|   | 4      |     |                          | 0                            | 100,00       | 97,20            | 1,78                      | 0     |      |   |
| 055   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 80,00            | 20,00                     | 75,00 | 0    | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 13,33            | 86,67                     | 86,15 | 5,74 | 0 |
|   |        | L   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 20,00                        | 80,00        | 82,33            | 5,72                      | 0     |      |   |
|   |        | S   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 20,00                        | 80,00        | 86,83            | 3,40                      | 0     |      |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0     | 0    |   |
|   |        |     | 4                        | 13,33                        | 86,67        | 85,38            | 4,85                      | 0     |      |   |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 33 – Porcentagem da área dos ambientes com a Circulação Encravada Opaca que apresenta cada intervalo da escala de INU.

| CÓDIGO,<br>PROFUNDIDADE<br>ORIENTAÇÃO E ANDAR |        |     | INU<100 lux<br>> 25% (%) | INU100–3000<br>lux ≥ 75% (%) | MÉDIA<br>(%) | DESVIO<br>PADRÃO | INU>3000 lux<br>> 25% (%) |   |   |   |
|---|--------|-----|--------------------------|------------------------------|--------------|------------------|---------------------------|---|---|---|
| 056   | 1,20 m | N   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         |   |   |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         |   |   |   |
|   |        | L   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        | S   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        | 057 | 1,50 m                   | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 |   |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 |   |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 | 0 |
| S   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   | 4      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
| O   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   | 4      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
| 058   | 2,00 m |     |                          | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 |   |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 |   |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 | 0 |
|   |        | S   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        | 059 | 2,50 m                   | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 |   |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 |   |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 | 0 |
| S   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   | 4      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
| O   | 1      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   | 4      |     |                          | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
| 060   | 3,00 m |     |                          | N                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 |   |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 |   |
|   |        |     |                          | L                            | 1            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 | 0 |
|   |        |     |                          |                              | 4            | 100,00           | 0                         | 0 | 0 | 0 |
|   |        | S   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        | O   | 1                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |
|   |        |     | 4                        | 100,00                       | 0            | 0                | 0                         | 0 |   |   |

Fonte: Elaboração própria.

Assim como nos demais ambientes estudados, foram realizados os testes de hipóteses dos modelos do Banheiro, comparando duas a duas as categorias de cada variável. Foram comparados os valores da área iluminada ( $INU_{100-3000} \text{ lux} \geq 75\%$ ) dos ambientes, apresentados nas Tabelas 17 e 18, para verificar quais variáveis afetam a disponibilidade da iluminação natural do Banheiro. Os resultados dessas comparações estão apresentadas na Tabela 34.

Tabela 34 – Resultado do teste de hipóteses de todos os modelos.

| VARIÁVEIS                       | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P                | POPULAÇÕES  |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| Circulação saliente x encravada | 45,31                       | 13,34 – 80,00              | $6,83 \times 10^{-10}$ | Diferentes  |
| Pavimento térreo x superior     | 39,10                       | 0,000053 – 80,00           | 0,0001644              | Diferentes  |
| Norte x Leste                   | 0,000065                    | -0,0000046 – 0,000027      | 0,7747                 | Semelhantes |
| Norte x Sul                     | 0,000023                    | -0,000023 – 0,000077       | 1                      | Semelhantes |
| Norte x Oeste                   | 0,000025                    | -0,000024 – 0,000072       | 0,8738                 | Semelhantes |
| Sul x Leste                     | -0,0000076                  | -0,000045 – 0,00002        | 0,8071                 | Semelhantes |
| Leste x Oeste                   | 0,000012                    | -0,00002 – 0,000028        | 0,8936                 | Semelhantes |
| Sul x Oeste                     | 0,000035                    | -0,00005 – 0,000035        | 0,974                  | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste     | 0,000025                    | -0,000016 – 0,000042       | 0,7837                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m                 | 0,000044                    | -0,000017 – 66,70          | 0,4912                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m                 | 0,000018                    | -0,0000014 – 66,70         | 0,6236                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m                 | -0,000071                   | -66,70 – 0,0000057         | 0,799                  | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m                 | 0,000023                    | 0,00003 – 66,70            | 0,6723                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m                 | -0,00005                    | -0,0000081 – 0,00007       | 0,8675                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m                 | -0,000025                   | -13,33 – 0,000044          | 0,3854                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m                 | -0,000046                   | -0,00003 – 0,000037        | 0,7936                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m                 | -0,00000014                 | -13,33 – 0,0000052         | 0,5011                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m                 | -0,000008                   | -0,000037 – 0,000023       | 0,8537                 | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m                 | 0,000035                    | -0,000072 – 13,33          | 0,5155                 | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

Considerando-se o critério adotado, percebe-se que as variáveis relação entre o componente de condução e o volume do edifício (circulação saliente ou encravada) e pavimento interferem na iluminação natural do Banheiro, quando considerados todos os modelos desse ambiente, assim como observou-se no Quarto 02, Quarto de empregados e Cozinha. A **relação entre o componente de condução e o volume do edifício** (circulação saliente ou encravada) tem o resultado semelhante ao dos demais ambientes. Pela mesma razão dos modelos dos ambientes estudados, ilustrada na Figura 25, o aumento do recuo e,

consequentemente, a diminuição da obstrução da abertura proporcionam melhor aproveitamento da iluminação natural. Os modelos que apresentam a circulação saliente também apresentam maior valor de área iluminada em relação aos modelos que apresentam a circulação encravada; esse valor é estimado em 45,31 pontos percentuais, com intervalo de confiança entre 13,34 e 80 pontos percentuais, como vê-se nos modelos 053 (circulação saliente, 2,00 m, orientação Oeste, pavimento superior) (Tabela 32) e 058 (circulação encravada, 2,00 m, orientação Oeste, pavimento superior) (Tabela 33).

A **altura do pavimento** também apresenta o mesmo comportamento verificado nos modelos dos ambientes Quarto 02, Quarto de empregados e Cozinha, diferentemente do resultado dos modelos do ambiente Sala/quarto 01: essa variável apresenta-se com menor interferência na iluminação natural no ambiente do Banheiro. O valor estimado da diferença entre o térreo e o 4º pavimento é de 39,10 pontos percentuais, porém devido à diferença dos resultados entre os modelos com circulação saliente e encravada, foram refeitos os testes de hipóteses, considerando apenas os modelos com componente de condução saliente, cujos resultados estão apresentados na Tabela 35.

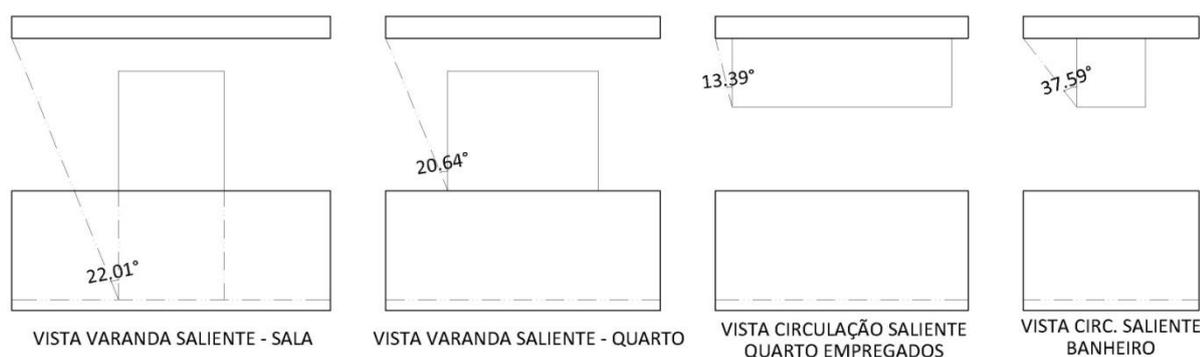
Tabela 35 – Resultado do teste de hipóteses dos modelos com componente de condução saliente.

| VARIÁVEIS                   | ESTIMATIVA DA DIFERENÇA (%) | INTERVALO DE CONFIANÇA 95% | VALOR P                | POPULAÇÕES  |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|-------------|
| Pavimento térreo x superior | 80,00                       | 80,00 – 86,67              | $3,33 \times 10^{-07}$ | Diferentes  |
| Norte x Leste               | -0,000025                   | -53,33 – 66,67             | 1                      | Semelhantes |
| Norte x Sul                 | -0,000035                   | -53,33 – 53,33             | 0,7595                 | Semelhantes |
| Norte x Oeste               | -0,000052                   | -60,00 – 60,00             | 0,7585                 | Semelhantes |
| Sul x Leste                 | -0,000044                   | -73,33 – 66,66             | 0,8455                 | Semelhantes |
| Leste x Oeste               | 0,000056                    | -80,00 – 66,66             | 0,7518                 | Semelhantes |
| Sul x Oeste                 | 0,00005                     | -66,66 – 66,66             | 0,8158                 | Semelhantes |
| Norte e Sul x Leste e Oeste | -0,000044                   | -20,00 – 13,34             | 0,8899                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 1,50 m             | 6,67                        | -66,67 – 80,00             | 0,4486                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,00 m             | 6,67                        | -66,66 – 80,00             | 0,4479                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 2,50 m             | -0,000028                   | -66,67 – 73,33             | 0,8315                 | Semelhantes |
| 1,20 m x 3,00 m             | 6,67                        | -73,33 – 80,00             | 0,5559                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,00 m             | -0,00007                    | -80,00 – 73,33             | 1                      | Semelhantes |
| 1,50 m x 2,50 m             | -10,91                      | -66,67 – 60,00             | 0,4226                 | Semelhantes |
| 1,50 m x 3,00 m             | -0,000027                   | -80,00 – 66,67             | 0,8685                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 2,50 m             | -13,34                      | -66,67 – 53,33             | 0,4233                 | Semelhantes |
| 2,00 m x 3,00 m             | -0,000014                   | -73,33 – 60,00             | 0,6571                 | Semelhantes |
| 2,50 m x 3,00 m             | 9,35                        | -60,00 – 66,67             | 0,4579                 | Semelhantes |

Fonte: Elaboração própria.

Considerando-se apenas os modelos com componente de condução saliente, percebe-se que a diferença estimada entre os modelos do pavimento térreo e superior é bem maior do que os resultados obtido quando se consideram todos os modelos. A variável **pavimento** é a única que apresenta interferência na iluminação natural desses modelos e a diferença estimada para as diferentes categorias desta variável é maior que nos ambientes analisados, em função da configuração da abertura desses diferentes ambientes, como pode-se ver na Figura 37, que mostra o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) gerado pelo componente de condução saliente para os quatro tipos de aberturas estudados neste trabalho. A diferença estimada é de 80 pontos percentuais, como vê-se no modelo 055 (3,00 m, orientação Leste) (Tabela 32).

Figura 37 – Diferentes Ângulos Verticais de Sombreamento (AVS) gerados pela lateral do componente de condução.

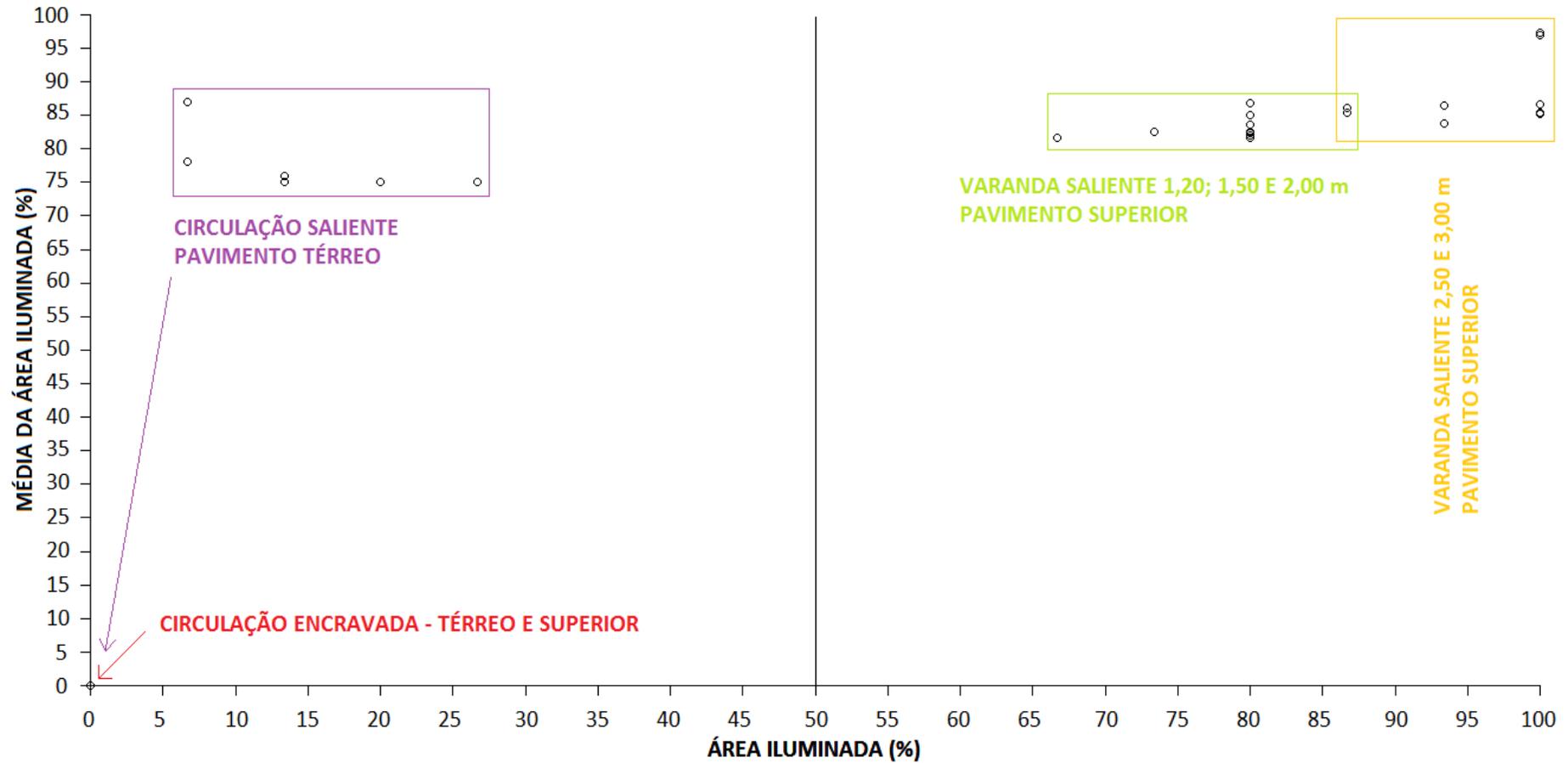


Fonte: Elaboração própria.

As variáveis **orientação** e **profundidade** não apresentam diferenças significativas ao analisar os modelos desse ambiente.

Na Figura 38, está apresentado o gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada para cada um dos 80 modelos do Banheiro. Os dados desse gráfico estão nas Tabelas 32 e 33.

Figura 38 – Gráfico de dispersão entre a área iluminada e a média da área iluminada dos modelos do Banheiro.



Fonte: Elaboração própria.

Esse ambiente apresenta comportamento semelhante aos ambientes analisados anteriormente, sendo a relação entre o componente de condução e o volume do edifício (circulação saliente ou encravada) a variável que apresenta maior influência na disponibilidade de luz natural no ambiente interno.

Todos os modelos de banheiro com circulação encravada, bem como todos os modelos de banheiro com circulação saliente no pavimento térreo, independentemente dos critérios de orientação e pavimento, apresentam iluminação natural insuficiente, sendo que esses, entre todos os modelos analisados, obtiveram o pior desempenho. Os modelos com melhores resultados são os que apresentam o componente de condução saliente com profundidade de 2,50 m e 3,00 m no pavimento superior, pois apresentam menor obstrução da abertura.

Outra observação que pode ser feita é em relação à área mínima da abertura para o Banheiro – 1/8 da área de piso, segundo a legislação de João Pessoa – que resultou em uma área de abertura de apenas 0,37 m<sup>2</sup>, posto que o ambiente em análise também apresenta a área mínima permitada para banheiros. Enquanto alguns dos Códigos de Obras analisados (ARACAJU, 1966; CAMPOS DO JORDÃO, 1978; FORTALEZA, 1981; PORTO VELHO, 1973; SALVADOR, 1988; VITÓRIA, 1998) mencionam uma área mínima de janela para determinados ambientes, na legislação de João Pessoa não é definida a área mínima de uma janela. Nesse sentido, a maior parte dos Códigos de Obras estudados apresenta o valor de 0,60 m<sup>2</sup> como área mínima de uma janela de banheiro, o que leva a crer que o Código de Obras de João Pessoa deveria incluir a exigência de uma área mínima para aberturas dos ambientes, independentemente da relação entre as áreas de janela e de piso.

### 3.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DA INU

A partir da análise dos resultados de todos os ambientes, pode-se perceber que as variáveis selecionadas neste estudo não são, isoladamente, a explicação de todas as observações descritas, porém a associação de algumas delas responde a algumas dessas observações.

A variável **relação entre o componente de condução e o volume do edifício** (varanda/circulação saliente ou encravada) foi a que se mostrou mais significativa, afetando, inclusive, o resultado das demais variáveis, quando comparados todos os resultados de cada ambiente. A observação mais importante em relação a essa variável é a grande diferença entre as configurações geométricas das duas situações (saliente e encravada) ao se considerar a legislação municipal de João Pessoa. De acordo com essa legislação, o afastamento entre as

edificações é considerado entre as faces externas dos blocos, sendo consideradas quaisquer saliências acima de 0,50 m. Dessa forma, enquanto o modelo encravado apresenta apenas uma face do componente de condução aberta e recuo entre os volumes edificados constante, o modelo saliente apresenta três faces do componente de condução abertas e recuo entre os edifícios variando em função da profundidade do componente de condução. O componente de condução saliente apresentou melhor resultado que o componente de condução encravado, independentemente das outras variáveis. Levando-se em consideração o critério adotado, 90,41% dos modelos com varanda/circulação saliente e apenas 31,25% dos modelos com varanda/circulação encravada têm iluminação natural suficiente.

A variável **transparência do peitoril**, analisada no ambiente Sala/quarto 01, apresentou influência nos modelos com varanda saliente, propiciando melhor aproveitamento da luz natural em todos os modelos, porém nos modelos com varanda encravada, não há diferença significativa no desempenho dos modelos com peitoril opaco ou transparente. Deve-se atentar para o fato de que essa variável só é relevante nesse ambiente pois a abertura é uma porta, sendo possível diminuir a obstrução da parte inferior dessa abertura, o que não acontece nas janelas, que têm peitoril igual (janela baixa) ou maior (janela alta) que o peitoril da varanda.

A **profundidade** do componente de condução é outra variável que isoladamente não apresenta diferença significativa entre os resultados de cada categoria na maior parte dos modelos. Apenas ao analisar separadamente os modelos com componente de condução encravado, é possível verificar diferenças entre algumas categorias em alguns ambientes: na Sala/quarto 01, podem ser consideradas iguais entre si as profundidades 1,20 m e 1,50 m (grupo 01) e 2,00 m; 2,50 m e 3,00 m (grupo 02); e os dois grupos apresentam diferença estimada de aproximadamente 20 pontos percentuais; no Quarto de empregados e na Cozinha, é observado o mesmo comportamento e são estimados cerca de 30 pontos percentuais de diferença. Desses modelos, os que apresentam profundidades menores têm melhores resultados de aproveitamento da luz natural.

A altura do **pavimento** – considerados os pavimentos térreo (+0,50 m) e 4º piso (+8,60 m) – apresenta diferenças significativas em todos os ambientes, sendo, no pavimento superior, observados melhores resultados. Na Sala/quarto 01 é estimada diferença de 46,67 pontos percentuais; no Quarto 02, no Quarto de empregados e na Cozinha, 20 pontos percentuais; por fim, no Banheiro, 39,10 pontos percentuais. No pavimento térreo, à exceção do Banheiro, os ambientes são suficientemente iluminados quando o componente de condução é saliente, independentemente das outras variáveis e não há iluminação natural

suficiente nos modelos com componente de condução encravado. No pavimento superior, os modelos com varanda/circulação saliente são iluminados naturalmente, considerando-se o critério adotado, enquanto os modelos com varanda/circulação encravada de 2,00 m, 2,50 m e 3,00 m não apresentam iluminação natural.

Considerando o critério de análise adotado, as categorias da variável **orientação** apresentam diferenças significativas apenas nos ambientes Sala/quarto 01 e Quarto 02. Na Sala/quarto 01, as orientações Norte e Sul (grupo 01) são consideradas iguais entre si e diferentes de Leste e Oeste (grupo 02) que são consideradas iguais entre si, porém com a pequena diferença estimada de 3,33 pontos percentuais. No ambiente Quarto 02, quando considerados apenas os modelos com varanda saliente, foi verificada diferença entre a orientação Norte e Sul (estimada em 7,50 pontos percentuais) e Norte e Leste (estimada em 5 pontos percentuais). Nos demais ambientes, não há diferenças significativa dos resultados em função da orientação da abertura, provavelmente por causa tanto do sombreamento da abertura, gerado pelo edifício vizinho e/ou pela varanda/circulação, em maior intensidade, quanto do critério adotado, com menor influência, uma vez que nos resultados disponibilizados no relatório do Daysim, a diferença é pequena: em, no máximo, metade dos sensores, há uma diferença média de 3 pontos percentuais, com valor máximo de 9 pontos percentuais, observados nos sensores do fundo.

## 4. CONCLUSÕES

Os **Códigos de Obras** municipais brasileiros, em geral, se assemelham às recomendações de Bahia *et al.* (1997), principalmente no que diz respeito à área de abertura de um ambiente em função de sua área de piso. Apesar de ter a vantagem de ser simples, o critério em questão é limitado por não contemplar as inúmeras combinações e variações que interferem na iluminação natural de ambientes internos. Além disso, nota-se que a definição da área de abertura em função da área de piso não se refere à área transparente, que é definida pelo projeto da esquadria, o que significa que uma janela totalmente de vidro é considerada tão adequada quanto uma janela totalmente de madeira, bastando que metade da área dessa esquadria possa ser aberta para que haja troca de ar com o ambiente exterior. Da mesma forma, os componentes de condução, que podem influenciar significativamente na admissão da luz natural, são também tratados de forma simplificada. Dessa forma, se percebe que a maior parte dos Códigos de Obras não apresenta preocupação efetiva quanto ao aproveitamento da iluminação natural.

No Código de Obras de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971), assim como nos demais Códigos de Obras comentados nesse trabalho, a proporção entre a área de piso e área da abertura e a profundidade máxima dos ambientes são os principais critérios adotados. Esses critérios, quando adotados nos limites mínimos, não possibilitam – principalmente nos ambientes com janelas altas e componentes de condução encravados – o aproveitamento eficiente da iluminação natural. O mesmo observado na legislação brasileira é também percebido por Julian (1998) e Boubekri (2004) quanto ao caráter recomendatório das normas dos países por eles analisados, como Alemanha, França, EUA, Inglaterra. As normas técnicas e o RTQ-R são ferramentas que apresentam alguns avanços, porém, ainda muito restritos ao meio acadêmico.

Em relação ao método da simulação computacional, utilizado nesse trabalho, se percebeu as vantagens quanto à possibilidade de experimentar uma quantidade de variáveis (no caso de um edifício construído – decisões projetuais) que não seria possível caso o estudo fosse realizado através de medições *in loco* ou cálculos parciais. A grande quantidade de dados gerados, contudo, criou a necessidade de sistematização desses dados. A fim de viabilizar a interpretação, foram aplicados testes estatísticos, que se mostraram adequados aos objetivos pretendidos. Outra vantagem da simulação computacional adotada é a gratuidade do *software* Daysim, o que facilitou a realização da pesquisa. Além disso, a utilização do mesmo método é possível não somente no meio acadêmico, mas também pelos profissionais da área

sem que haja a necessidade de grandes investimentos. Apesar do *software* Daysim ainda não ter manual em português, sua utilização é de fácil aprendizagem, sendo necessário investir pequeno tempo para que se possa utilizá-lo. A possibilidade de utilização do *software* Daysim está diretamente relacionada com a disponibilidade do arquivo climático TRY do local onde o projeto simulado venha a ser implantado. Os arquivos climáticos TRY, no Brasil, ainda são poucos, apesar do empenho de vários laboratórios das Universidades do país. Até pouco tempo atrás, a cidade de João Pessoa não possuía o arquivo climático TRY, apenas em 2012, ele foi elaborado pelo professor Maurício Roriz e disponibilizado no *site* do LABEEE – UFSC – <http://www.labeee.ufsc.br>.

Quanto aos modelos de cada ambiente, notou-se que apesar das diferentes dimensões de cada um, todos apresentam planta retangular. Esse tipo de planta poderia ainda gerar outras variáveis para análise: a localização da abertura na parede que tornasse a profundidade menor que a largura do ambiente, a abertura do ambiente perpendicular à abertura do componente de condução. Talvez essas variáveis trouxessem observações opostas às verificadas, como o melhor aproveitamento da iluminação natural no caso de a profundidade ser menor que a largura como observaram Ghisi, Tinker & Ibrahim (2005), porém foi decidido optar pela configuração que se apresenta como a mais crítica, devido à grande quantidade de combinações já definidas.

Outra variável que, pela mesma razão acima exposta, se optou por não verificar foi a configuração das aberturas. Num mesmo ambiente se poderia verificar qual abertura teria melhor desempenho quanto à penetração e distribuição da iluminação natural, uma porta, uma janela baixa ou uma janela alta, como verificaram Bittencourt *et al.* (1995). A influência de variações no entorno também não foi verificada, apesar do conhecimento de vários trabalhos (CAPELUTO, 2002; LEDER *et al.*, 2006; NG *et al.*, 2006; SCALCO, PEREIRA & RIGATTI, 2010) que demonstram que o entorno tem uma influência decisiva nos níveis de iluminação natural que penetram o ambiente, bem como na distribuição desses níveis.

Percebeu-se que, em todos os ambientes simulados, a **relação entre o componente de condução e o volume do edifício** (varanda/circulação saliente ou encravada) é a variável que apresenta maiores diferenças nos resultados, o que leva a crer ser esta decisão projetual a de maior relevância para a iluminação natural. Os modelos que apresentam varanda/circulação encravada têm resultados inferiores aos modelos com varanda/circulação saliente, em razão da maior obstrução da única abertura de cada modelo, principalmente nos ambientes em que a abertura é uma janela alta. A associação de janela alta e componente de condução encravado não possibilita o aproveitamento da luz natural. No caso dos modelos que apresentam a

varanda/circulação saliente, percebe-se que a inexistência de paredes laterais favorece a iluminação natural no ambiente interno, por ser exigido maior recuo entre os volumes dos edifícios vizinhos. Esse maior recuo permite a diminuição do sombreamento de um edifício no outro, além de aumentar a área visível da abóbada celeste, tanto frontal quanto lateralmente à abertura.

Nos dois **pavimentos** analisados, térreo e 4º pavimento, o comportamento da iluminação natural é distinto – os modelos do pavimento superior apresentam resultados melhores em função da menor obstrução pelo entorno. Além disso, a iluminação natural no pavimento térreo agrava-se nos modelos com componente de condução encravado, condição na qual a incidência da radiação solar direta, assim como a área visível de céu, é extremamente reduzida. A iluminação natural presente no pavimento térreo é predominantemente indireta, decorrente da reflexão do entorno.

Como já comentado, devido à característica de ocupação máxima do solo, os resultados obtidos em relação à **orientação** apresentaram grande semelhança na maior parte dos modelos. Isso não significa a inexistência de diferença entre os valores de iluminância obtidos nos modelos que apresentam orientações distintas, porém essas diferenças não apresentam significância para o método estatístico (teste de hipótese) adotado. Apenas no ambiente Sala/quarto 01 é verificada diferença entre as orientações, porém uma diferença estimada pequena quando consideradas as orientações Norte e Sul iguais entre si (grupo 01) e diferentes das orientações Leste e Oeste, que são consideradas iguais entre si (grupo 02). Já no ambiente Quarto 02, quando considerados apenas os modelos com varanda saliente, é verificada diferença entre as orientações Norte e Sul e Norte e Leste. Pode-se explicar a igualdade entre as orientações também por razão do método de simulação, uma vez que os parâmetros de análise da iluminação natural adotados na pesquisa (ALN e INU) são definidos em porcentagem da iluminância para o período analisado, sendo desconsideradas as diferenças existentes em determinados momentos, como o período do dia, em que podem ser verificados maiores valores de iluminância no turno da manhã nos modelos com orientação Leste se comparado com os modelos com orientação Oeste.

Tomando a ocupação máxima do solo como principal razão da semelhança dos resultados das diferentes orientações, pode-se entender que para a definição da orientação da abertura, em tal condição, devem ser considerados mais significativos outros fatores como a ventilação natural, a insolação, a privacidade, a segurança, etc.

A **transparência do peitoril** do componente de condução pode favorecer o nível de iluminação interno, especialmente quando a esquadria toca o chão. O método estatístico

adotado aponta diferença estimada pequena, em torno de 3%, porém, em uma situação de ocupação máxima, como a estudada, essa pode ser uma medida para melhorar a qualidade luminosa do ambiente, principalmente ao se adotar, em conjunto, outras medidas que possibilitem maior aproveitamento da luz natural. A transparência proporcionada pelo vidro pode ser obtida através de outros elementos comumente utilizados nas construções, como os gradis em ferro/alumínio, e servem para evitar a obstrução de parte da esquadria.

A variável **profundidade** do componente de condução, considerando o método estatístico adotado, não representou influência significativa no desempenho da iluminação natural nos modelos com componente de condução saliente. Isso deve-se ao fato de que outras variáveis foram mais impactantes, como a relação entre o componente de condução e o volume do edifício (varanda/circulação saliente ou encravada), a geometria do ambiente, a configuração da abertura e a proporção entre área de janela e de piso. Apenas nos modelos com componente de condução encravado, à exceção do Banheiro, percebe-se influência da profundidade desse componente no desempenho da iluminação natural: as profundidades menores (1,20 m; 1,50 m e 2,00 m), na maior parte dos modelos, apresentam comportamentos semelhantes entre si, assim como as demais (2,50 m e 3,00 m) também apresentam comportamento semelhante entre si.

A configuração da esquadria, apesar de não ser uma das variáveis investigadas, mostrou ser determinante na distribuição dos valores de iluminância no plano de trabalho e na admissão da iluminação natural. Os ambientes com janelas altas apresentaram níveis da ALN e da INU inferiores aos ambientes com janela baixa e porta, mesmo havendo a mesma proporção entre área de janela e de piso nos ambientes. No caso do Banheiro, em que a janela é alta e a proporção entre área de janela e de piso é a menor exigida pela legislação municipal, os resultados são os mais desfavoráveis, principalmente quando o componente de condução é encravado. O ambiente Quarto 02 apresenta melhor desempenho, pois há, proporcionalmente, menor número de ocorrência de iluminação natural insuficiente; os melhores resultados são dos modelos com varanda saliente.

Considerando os ambientes analisados, as variáveis e os parâmetros adotados nesta análise, aproximadamente 40% dos modelos simulados apresentam iluminação natural insuficiente. Sendo assim, pode-se concluir que as exigências presentes no Código de Obras de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 1971), relacionadas à admissão da luz natural nas edificações, não são adequadas ao aproveitamento da iluminação natural.

Nesse sentido, tendo em conta os resultados obtidos com esse trabalho, percebe-se a necessidade de revisão dos artigos do Código de Obras de João Pessoa (JOÃO PESSOA,

1971) que tratam sobre as aberturas dos ambientes internos através de componente de passagem, com as seguintes recomendações:

- a) Definição de área mínima translúcida/transparente ou vazada nas aberturas;
- b) Atualização da relação entre as áreas de abertura e de piso do ambiente no caso de existência de componente de condução, possível através de estudos futuros mais específicos.
- c) Vinculação dos limites de profundidade do componente de condução à variável altura do pavimento (principalmente nos pavimentos localizados nos andares inferiores);
- d) Limitar o Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) gerado pelo componente de condução, como observa o Manual do RTQ-C e RAC-C (LABEEE, 2010);
- e) Restrição ao uso de componente de condução encravado no recuo lateral no pavimento térreo ou a vinculação deste à exigência de maior recuo lateral;
- f) Restrição à associação de componente de condução encravado à janela alta;
- g) Definição de área mínima para abertura de um ambiente, independentemente da relação entre as áreas de janela e de piso, prevalecendo a maior.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5382**: Verificação de iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992a.

\_\_\_\_\_. **NBR 12286**: Roteiro para elaboração e apresentação do Código de obras. Rio de Janeiro, 1992b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-1**: Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-2**: Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural. Rio de Janeiro, 2005b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-3**: Iluminação natural – Parte 3: Procedimentos de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos. Rio de Janeiro, 2005c.

\_\_\_\_\_. **NBR 15215-4**: Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. Rio de Janeiro, 2005d.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005e.

ALBUQUERQUE, M. S. C. & AMORIM, C. N. D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol. 12, nº 2. 2012.

AMARAL, M. G. V. & PEREIRA, F. O. R. Iluminação natural: revisão da legislação construtiva de Florianópolis. In: **Anais do V Encontro Nacional e II Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Fortaleza, 1999.

ARACAJU. **Lei nº 13, de 03 de junho de 1966**. Código de obras do município de Aracaju. Aracaju, 1966.

BAHIA, S. R. *et al.* **Modelo para elaboração de códigos de obras e edificações**. Guia Técnico. Rio de Janeiro: IBAM/DUMA, 1997.

BAKER, N; FANCHIOTTI, A & STEEMERS, K. **Daylighting in architecture: a european reference book**. Londres: James & James Publishers, 1993.

BELÉM. **Lei ordinária nº 7.400, de 25 de janeiro de 1988**. Dispõe sobre as edificações no município de Belém e dá outras providências. Belém, 1988.

BITTENCOURT, L *et al.* Influência da localização, dimensão e forma das janelas nos níveis de iluminação natural produzidos por céus encobertos. In: **Anais do III Encontro Nacional e I Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Gramado, 1995.

BOGO, A. J. & PEREIRA, F. O. R. Análise de desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares. In: **Anais do IV Encontro Nacional e II Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Salvador, 1997.

BOUBEKRI, Mohamed. A overview of the current state of daylight legislation. **Journal of the Human-Environment System**. Vol. 7, nº. 2. 2004.

BOYCE, P. R. Why Daylight? In: **Anais da International Daylighting Conference '98**. Ottawa, 1998.

BOYCE, P; HUNTER, C. & HOWLETT, O. **The benefits of daylight trough windows**. Relatório técnico. Nova Iorque: Lighting Research Center, 2003.

BRASIL. **Portaria nº. 372, de 17 de setembro de 2010**. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais. Rio de Janeiro, 2010.

CAMPOS DO JORDÃO. **Lei nº 1.097, de 04 de janeiro de 1978**. Dispõe sobre o código de edificações no município de Campos do Jordão. Campos do Jordão, 1978.

CAPELUTO, I. G. The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. **Building and Environment**, vol. 38, nº 5. 2002.

CAXIAS DO SUL. **Lei complementar nº 375, de 22 de dezembro de 2010**. Consolida a legislação que dispõe sobre o código de obras do município e dá outras providências. Caxias do Sul, 2010.

CIBSE – THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. **Windows design – applications manual**. Londres, 1987.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural: a influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. Dissertação de mestrado. Brasília, Universidade Federal de Brasília, 2011.

CUNHA, T. G. **Os códigos de obras: tradições e potencialidades**. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

CURITIBA. **Decreto nº 212/2007 de 29 de março de 2007**. Aprova o regulamento de edificações do município de Curitiba e dá outras providências. Curitiba, 2007.

DAN, C. H. **Daylighting performance assessment methods for high-rise residential buildings in a dense urban environment**. Tese de doutorado. Hong Kong, The Hong Kong Polytechnic University, 2006.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2006.

DIDONÉ, E. L. **A influência da luz natural na avaliação da eficiência energética de edifícios contemporâneos de escritórios em Florianópolis/SC**. Dissertação de mestrado. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

FERNANDES, J. T. **Código de obras e edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética**. Dissertação de mestrado. Brasília, Universidade de Brasília, 2009.

FORTALEZA. **Lei nº 5.530, de 17 de dezembro 1981**. Dispõe sobre o código de obras e posturas do município de Fortaleza e da outras providências. Fortaleza, 1981.

FRANÇA, F. P. M; CARVALHO, C. A. & CABÚS, R. C. A influência do uso de varandas na iluminação natural em salas de estar/jantar em edifício residencial multifamiliar na cidade de Maceió - AL. In: **Anais do X Encontro Nacional e VI Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Natal, 2009.

FROTA, A. B. & SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GHISI, E; TINKER, J. A. & IBRAHIM, S. H. Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura *versus* simulação computacional. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol. 5, nº 4. 2005.

HOPKINSON, R. G; PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. **Iluminação natural**. 2ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCE. **Daylight in buildings: a source book on daylighting systems and components**. Relatório técnico. 2000.

JOÃO PESSOA. **Lei nº 1.347, de 27 de abril de 1971**. Institui o código de obras do município de João Pessoa. João Pessoa, 1971.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 5.900, de 24 de abril de 2007**. Estabelece instruções normativas de aprimoramento da legislação urbanística vigente e dá outras providências. João Pessoa, 2007.

JAMPA EM MAPAS. Disponível em: <<http://joaopessoa.pb.gov.br/jampaemmapas>>. Acesso em: 07 fev. 2013.

JULIAN, W. G. Daylighting standards, codes and policies. In: **Anais da International Daylighting Conference '98**. Ottawa, 1998.

KIM, G. & KIM, J. T. Healthy-daylighting design for the living environment in apartments in Korea. **Building and Environment**, vol. 45, nº 12. 2010.

LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina *et al.* **Manual de Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C**. Relatório Técnico. 2010.

LAGES. **Lei Ordinária nº 236, de 08 de junho de 1965**. Aprova o código de obras e dá outras providências. Lages, 1965.

LAM, W. M. C. **Sunlighting as formgiver for architecture**. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold, 1986.

LARANJA, A. C; GAZZANEO, L. M. C. & CABÚS, R. C. Regulamentações urbanas e edíficias: considerações sob o aspecto da iluminação natural em ambientes internos. In: **Anais do X Encontro Nacional e VI Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Natal, 2009.

LEDER, S. M. *et al.* Impact of urban design on daylight availability. In: **Anais da XXIII Conference on Passive and Low Energy Architecture**. Geneva, 2006.

LESLIE, R. P. Capturing the daylight dividend in buildings: why and how? **Building and Environment**, vol. 38, nº 2. 2003.

LIMA, T. B. S. & AMORIM, A. L. Iluminação natural: um estudo de caso com ferramentas de simulação. In: **Anais do XVI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico**, Santa Cruz do Sul, 2003.

LYNES, J. A. **Principles of natural lighting**. Londres: Elsevier, 1968.

MACAPÁ. **Lei complementar nº 31, de 24 de junho de 2004**. Institui o código de obras e instalações do município de Macapá e dá outras providências. Macapá, 2004.

MACEIÓ. **Lei nº 5593, de 08 de fevereiro de 2007.** Institui o código de urbanismo e edificações do município de Maceió, estabelece o zoneamento da cidade de acordo com os parâmetros de macrozoneamento do plano diretor de desenvolvimento urbano (lei nº 5486/05) e dá outras providências. Maceió, 2007.

MANAUS. **Lei nº 673, de 04 de novembro de 2002.** Institui o código de obras e edificações do município de Manaus, estado do Amazonas, e dá outras providências. Manaus, 2002.

MARAGNO, G. V. **Sombras profundas: dimensión estética y repercusión ambiental del diseño de la varanda en la arquitectura brasileña.** Tese de doutorado. Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.

MARAGNO, G. V. & COCH, H. O desenho da varanda e sua repercussão ambiental na arquitetura das casas brasileiras. In: **Anais do XI Encontro Nacional e VII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído.** Búzios, 2011.

MARDALJEVIC, J. **Climate-based daylight analysis for residential buildings.** Relatório Técnico. Leicester: IESD, De Montfort University, 2008.

MARDALJEVIC, J. *et al.* Daylighting metrics for residential buildings. In: **Anais do 27th Session of the CIE.** Sun City, África do Sul, 2011.

MARDALJEVIC, J. *et al.* Daylighting metrics: is there a relation between useful daylight illuminance and daylight glare probability? In: **Anais da Building Simulation and Optimization Conference BSO12.** Loughborough, Reino Unido, 2012.

MARDALJEVIC, J; HESCHONG, L & LEE, E. Daylight metrics and energy savings. **Lighting Research & Technology**, vol. 41, nº 3. 2009.

MARDALJEVIC, J. & NABIL, A. Useful daylight illuminance: a new paradigm to access daylight in buildings. **Lighting Research & Technology**, vol. 37, nº 1. 2005.

MARDALJEVIC, J.; REINHART, C. F. & ROGERS, Z. Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. **Leukos**, vol. 3, nº 1. 2006.

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas.** 3ª ed. Porto Alegre: JLM, 2004.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação: estratégias para minimizar seu consumo.** São Paulo: Projeto, 1985.

MATOS, M. *et al.* Análise de diferentes métodos de avaliação do aproveitamento da luz natural. In: **Anais do IX Encontro Nacional e V Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído.** Ouro Preto, 2007.

MUNNER, T. *et al.* **Windows in buildings: thermal, acoustic, visual and solar performance.** Oxford: Architectural Press, 2000.

NATAL. **Lei complementar nº 55, de 27 de janeiro de 2004.** Institui o código de obras e edificações do município de Natal e dá outras providências. Natal, 2004.

NEUFERT, E. **Arte de projetar em arquitetura.** 17ª ed. Barcelona: Ed. Gustavo Gili, 2005.

NG, E. Studies on daylight design and regulation of high-density residential housing in Hong Kong. **Lighting Research and Technology**, vol. 35, nº 2. 2003.

NG, E. *et al.* Designing high density cities – parametric studies of urban morphologies and their implied environmental performance. In: BAY, J. H. & ONG, B. L. **Tropical sustainable architecture: social and environmental dimensions**. Oxford: Architectural Press, 2006.

OSRAM. **Linha Led varejo 2013**. Disponível em: <<http://www.osram.com.br/media/resource/HIRES/350053/catlogo-de-leds-varejo-2013.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2013.

PEREIRA, F. O. R. Apostila do curso de iluminação natural no ambiente construído. In: **Anais do III Encontro Nacional e I Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Gramado, 1995.

\_\_\_\_\_. Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente lumínico e economia de energia na edificação. In: **Anais do II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**. Florianópolis, 1993.

PEREIRA, F. O. R. *et al.* Uma investigação sobre a consideração da iluminação natural nas diferentes etapas de projeto. In: **Anais do VIII Encontro Nacional e IV Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Maceió, 2005.

PEREZ, R. *et al.* All-weather model for sky luminance distribution - preliminary configuration and validation. **Solar Energy**, vol. 50, nº 3. 1993.

PORTO VELHO. **Lei nº 63, de 13 de abril de 1973**. Estabelece normativas para as edificações em geral e dá outras providências. Porto Velho, 1973.

RECIFE. **Lei nº 16.292, de 26 de janeiro de 1997**. Regula as atividades de edificações e instalações, no município do Recife, e dá outras providências. Recife, 1997.

REINHART, C. F. Simulation-based review of the ubiquitous window-headheight to daylight zone depth rule-of-thumb. **Anais do Buildings Simulation 2005**. Canadá, 2005.

\_\_\_\_\_. **Tutorial on the use of daysim simulations for sustainable design**. Tutorial. Cambridge, Havard University, 2010.

REINHART, C. F. & WEISSMAN, D. A. The daylight area – correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics. **Building and Environment**, vol. 50, 2012.

RIO BRANCO. **Lei nº 1.732, de 23 de dezembro de 2008**. Institui o código de obras e edificações do município de Rio Branco e dá outras providências. Rio Branco, 2008.

RIO DE JANEIRO (Cidade). **Decreto “E” nº 3.800, de 20 de abril de 1970**. Aprova os regulamentos complementares à lei do desenvolvimento urbano do estado da Guanabara e dá outras providências. Rio de Janeiro, 1970.

SALVADOR. **Lei nº 3903 de 27 de julho de 1988**. Institui normas relativas à execução de obras do município do Salvador, alterando as leis nº 2.403/72 e 3.077/79, e dá outras providências. Salvador, 1988.

SEGAWA, H. Clave de Sol: notas sobre a história do conforto ambiental. **Ambiente construído**, Porto Alegre, vol. 3, nº 2. 2003.

SERRA, R. Daylighting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 2, nº 1 e 2. 1998.

SCALCO V. A; PEREIRA, F. O. R. & RIGATTI, D. Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol. 10, nº 2. 2010.

SCARAZZATO, P. S. A APO e a iluminação ambiental. In: **Anais do V Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. São Paulo, 1993.

SIEM, G. & SOSA, E. Revisión de las normas venezolanas sobre exigencias térmicas, acústicas y de iluminación bajo una perspectiva de sostenibilidad. In: **Anais do VI Encontro Nacional e III Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. São Pedro, 2001.

STEWART, K. **New Zealand building code clause G7 compliance assessment tool: development and implementation**. Dissertação de mestrado. Wellington, Victoria University of Wellington, 2008.

USGBC – UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED 2009 for new construction and major renovations rating system with alternative compliance paths for projects outside the United States**. Washington, 2011.

VIANNA, N. S. & GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura**. 3ª ed. São Paulo: Geros, 2007.

VIEIRA, S. **Bioestatística: tópicos avançados**. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

VITÓRIA. **Lei nº 4.821, de 30 de dezembro de 1998**. Institui o código de edificações do município de Vitória e dá outras providências. Vitória, 1998.