UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA – CT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO – PPGAU

LILIANNE DE QUEIROZ LEAL

A INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE ENTORNO E DO EDIFÍCIO SOBRE AS ILUMINÂNCIAS E O OFUSCAMENTO NOS AMBIENTES INTERNOS:

Um estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos em recorte urbano na cidade de João Pessoa/ PB

JOÃO PESSOA
OUTUBRO | 2013

LILIANNE DE QUEIROZ LEAL

A INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE ENTORNO E DO EDIFÍCIO SOBRE AS ILUMINÂNCIAS E O OFUSCAMENTO NOS AMBIENTES INTERNOS:

Um estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos em recorte urbano na cidade de João Pessoa/PB

Orientadora Profª. Drª. SOLANGE MARIA LEDER
Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo
Linha de pesquisa: Conforto ambiental e eficiência energética

JOÃO PESSOA
OUTUBRO | 2013

L435i Leal, Lilianne de Queiroz.
A influência das variáveis de entorno e do edifício sobre as iluminâncias e o ofuscamento nos ambientes internos: um estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos em recorte urbano na cidade de João Pessoa-PB / Lilianne de Queiroz Leal.- João Pessoa, 2013.
153f. : il.
Orientadora: Solange Maria Leder
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT
1. Arquitetura e urbanismo. 2. Iluminação natural.
3. Ofuscamento. 4. Simulação computacional.

UFPB/BC CDU: 72+711 (043)

LILIANNE DE QUEIROZ LEAL

A INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE ENTORNO E DO EDIFÍCIO SOBRE AS ILUMINÂNCIAS E O OFUSCAMENTO NOS AMBIENTES INTERNOS:

Um estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos em recorte urbano na cidade de João Pessoa/PB

Banca Examinadora

Prof. Dra. **Solange Maria Leder**
Orientadora – UFPB

Prof. Dra. **Cláudia Veronica Torres Barbosa**
Examinador Interno – UFPB

Prof. Dr. **Leonardo Salazar Bittercourt**
Examinador externo – UFAL

JOÃO PESSOA
OUTUBRO | 2013

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãs, meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela constante presença em minha vida.

Aos meus pais,
que sempre me apoiaram em todas as etapas de minha formação,
com dedicação, incentivo e carinho.

As minhas irmãs, meus exemplos,
pela compreensão, paciência e momentos de distração.

Ao minha orientadora e professora, Solange Maria Leder,
pela orientação, paciência e dedicação.

Aos meus amigos do LabCon/UFPB,
Eliana, Andréia, Lúcia Helena, Sheysa e Guilherme,
por toda a ajuda e troca de conhecimento, amizade e companheirismo.

Ao professor Bueno e a Erivaldo Lopes do
Laboratório de Análise do Trabalho – LAT, pela disponibilidade e
ajuda com os métodos estatísticos.

A minha turma do PPGAU-2011.2,
em especial, Marieta, Yane, Natália e Andreína
pela acolhida e momentos divertidos.

Aos demais que, de perto ou longe,
contribuíram para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

LEAL, Lilianne de Queiroz. **A influência das variáveis de entorno e do edifício sobre as iluminâncias e o ofuscamento nos ambientes internos:** um estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos em recorte urbano na cidade de João Pessoa-PB. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFPB, 2013.

Com o adensamento dos centros urbanos e a verticalização, a malha urbana vem sendo modificada a ponto de afetar significativamente a disponibilidade da luz natural nas edificações. Sob esta ótica, o escopo do presente trabalho aborda a influência das variáveis de entorno e do edifício sobre as iluminâncias e ofuscamento nos ambientes internos. A partir de um estudo de caso no Bairro de Manaíra na cidade de João Pessoa-PB, foram avaliadas como variáveis independentes: o grau de obstrução do entorno, as propriedades das superfícies verticais externas – refletância e elementos de proteção solar, a altura do pavimento e a orientação. As variáveis dependentes, relacionadas com a iluminação natural nos ambientes internos, foram: a distribuição das iluminâncias, o percentual de área iluminada inseridas na faixa útil de iluminâncias e a ocorrência de ofuscamento. Por meio de simulação computacional, utilizando o software *Daysim*, o uso da métrica dinâmica permitiu extrair dados de iluminâncias natural útil ($INU_{300\text{-}3000lux}$), além de valores em escala temporal e espacial no período de um ano correspondente ao arquivo climático da cidade já mencionada. Em complemento, foram encontrados os índices da probabilidade de ofuscamento da luz natural (POLN) através do aplicativo *Evalglare*. Com métodos gráfico e estatístico, foi possível verificar diferenças entre os 120 modelos de ambientes internos inserido em três cenários urbanos distintos e comparar as variáveis de pesquisa que apresentaram maior influência. Percebeu-se que os dispositivos de proteção solar nas fachadas contribuíram mais significativamente para frequência das iluminâncias na faixa útil quando comparadas com os cenários sem sombreamento, sendo primordial para aumento dos níveis de iluminação e redução dos desconfortos visuais. Adicionalmente, notou-se que os pavimentos mais obstruídos, a exemplo do Térreo, foram os mais uniformes, porém com iluminâncias abaixo da faixa suficiente ($INU_{<300lux}$). Quanto às variáveis do edifício, as fachadas orientadas para Noroeste e Nordeste apresentaram melhor desempenho, apresentando ambientes com menores variações das iluminâncias, percentuais satisfatórios de área iluminada acima de 75% de INU bem como maiores faixas de ofuscamento imperceptível. Diferentemente, a fachada Sudoeste registrou o pior resultado em relação aos níveis de iluminação e a Sudeste a mais propensa ao aumento da probabilidade de ofuscamento, sobretudo nos ambientes inseridos nos cenários com reflexão máxima das fachadas e em situações sem interferência do entorno, com a contribuição da luz direta.

Palavras-chave: iluminação natural, ofuscamento, simulação computacional.

ABSTRACT

LEAL, Lilianne de Queiroz. **Influence of the variables surrounding and of the building on the illuminance and glare of its indoor environments:** a case study of a sample urban area with multi-storey residential buildings in the city of João Pessoa – PB. Dissertation (Master of Architecture and Urbanism) – Program of MA in Architecture and Urbanism, UFPB, 2013.

Due to the densification of urban centers and the verticalization, the urban grid has been modified to the point of significantly affecting the availability of daylight in buildings. Under this view, the scope of this paper discusses the influence of variables around and of the building on the illuminance and glare of its indoor environments. From a case study in Manaíra, a district in the city of João Pessoa – PB, the aspects which were evaluated as independent variables were: the degree of obstruction of the surroundings, the properties of the external vertical surfaces - reflectance and solar protection elements, the height of the floor and orientation. The dependent variables related to daylighting in indoor environments were: the illuminance distribution, the percentage of the illuminated area inserted into the useful range of illuminance and the occurrence of glare. Through computer simulation, by using the *Daysim* software, the use of dynamic metric allowed the extraction of data of the Useful Daylight Illuminance ($UDI_{300\text{-}3000lux}$), besides values in temporal and spatial scale in the period of a year corresponding to the weather file of the city mentioned. In addition, the ratios of Daylight Glare Probability (DGP) were found through the *Evalglare* program. It was possible, by the use of graphic and statistical methods, to find differences between the 120 models of indoor environments inserted in three different urban settings and to compare the research variables which showed the strongest influence. It was noticed that the sun protection devices in facades contributed most significantly to the useful frequency range of illuminance compared to scenarios without shading, being it paramount to the increase of lighting levels and the reduction of visual discomfort. Additionally, it was noticed that the most clogged pavements, like the ground, were the most uniform. However, there was a level of illuminance below the range of sufficiency ($UDI_{<3000lux}$). Regarding the variables of the building, the facades which are oriented Northwest and Northeast have better performance, featuring environments with minor variations of illuminance, satisfactory percentage of illuminated area above 75% of UDI, as well as larger bands of unnoticeable glare. Differently, the Southwest facade recorded the worst results in respect of lighting levels and the Southeast facade is the most prone to the increase of glare probability, especially in embedded environments of scenarios with maximum reflection of the facades and in situations without interference from the surroundings and with the contribution of direct light.

Keywords: daylighting, glare, computer simulation.

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 – Espectro eletromagnético–destaque para espectro solar. 24
Figura 1.2 - (a)Campo de visão típico. (b) – Relação entre luminância e ângulos de visão – série típica de conforto visual: a) 750 fL, b) 535 fL c) 375 fL, d) 250 fL, e) 170 fL. 25
Figura 1.3 – Níveis permitidos de contrastes de luminâncias no campo visual. 26
Figura 1.4 – Contribuição do céu, refletida pela superfície externa e interna. 28
Figura 1.5 – Imagem olho de peixe mostrando a vista externa do ambiente interno em estudo. Esquema de localização dos edifícios com ângulo e ponto de medição. 29
Figura 1.6 – Relação entre medições e simulações com a refletância do edifício. 30
Figura 1.7 – Porcentagem de variação da média anual de iluminância global em função do tipo de céu e das alturas das edificações obstruidoras. 31
Figura 1.8 – Modelo do cenário da situação real (à esquerda) e malha adensada, segundo novo Código de Urbanismo de Mendonza (à direita). 32
Figura 1.9 - (a) Sala de referência, plano de trabalho e pontos analisados. (b) Comparação dos níveis de iluminância nos pontos analisados para janela simples e prateleira de luz. 33
Figura 1.10 – Contribuição percentual de cada um dos componentes para janela simples e com prateleira de luz. 34
Figura 1.11 – Esquemas de proteção solar utilizados na pesquisa. 35
Figura 1.12 – Esquemas de proteção solar utilizados – Vão Aberto, Modelo Comum, Modelo Base e Modelo A. 35
Figura 1.13 – Diagrama cromático da luz – Amplitude – Fator luz-dia para cada modelo. 36
Figura 1.14 – Modelos de situações sem proteção e com 3 tipos de proteção: beiral, vertical e varanda. 37
Figura 1.15 – Os componentes da luz natural, o FLD e as métricas que utilizam dados climáticos. 38

Figura 1.16 – Escala de IULN (UDI) e Relação porcentagem de horas e largura da sala no sentido Leste-Oeste. 40
Figura 1.17 – (a) Variação espacial e temporal e (b) Frequência anual das iluminâncias. 40
Figura 1.18 – Exemplos de fontes de ofuscamento desabilitador e desconfortável.
Figura 1.19 – Modelo de ambiente interno para simulação. 42
Figura 1.20 – Avaliação da luz natural através de INU e ALN. 45
Figura 1.21 – Relação entre DGP e o número de horas cima do DGP. 45
Figura 1.22 – Imagem olho de peixe, mostrando modelos digitais das salas NO a 46
esquerda e SO a direita. 46
Figura 1.23 – DGP da fachada SO sob céu claro nas áreas do computador e na mesa. 47
Figura 1.24 – (a) Predições de ofuscamento e índices gerados no Evalglare. (b) Distribuição anual do DGP. 48

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 – Mapa de localização do Bairro em estudo – Manaíra, João Pessoa/ Paraíba. 61
Figura 2.2 – Planta de localização - destaque para o recorte. 62
Figura 2.3 – Mapa do bairro de Manaíra – Edificações com mais de cinco pavimentos (Apêndice 01). 63
Figura 2.4 – Frequência de ocorrências de Percentual de Abertura na Fachada e dimensões de aberturas. 64
Figura 2.5 – Procedimento de cálculo das áreas proporcionais nas fachadas. 64
Figura 2.6 – Cartela de cores e coeficiente de reflexão correspondente. 65
Figura 2.7 – Quadro esquemático dos modelos. 68
Figura 2.8 - (a) Tipologia de análise, destaque para os pavimentos estudados, (b) ambiente interno. 69
Figura 2.9 – Nomenclatura dos modelos de simulação. 70
Figura 2.10 – Sequência do programa Daysim. 71
Figura 2.11 – Imagem do tipo olho de peixe. 74

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 – Amostra das edificações. 71
Figura 3.2 – Localização do lote onde será inserido o modelo base e planta esquemática do terreno com a disposição dos ambientes a serem analisados. 73
Figura 3.3 – Cenário base. 74
Figura 3.4 – Cenários hipotéticos sem proteção nas aberturas. 75
Figura 3.5 – Percentual de abertura na fachada (%). 75
Figura 3.6 – Comprimento das aberturas por fachada. 76
Figura 3.7 – Altura das aberturas por fachada. 76
Figura 3.8 – Malha de pontos para análise de iluminância anual (IULN e ALN) – Medição para Fachada Sudoeste. 78
Figura 3.9 – Posicionamento em planta baixa de esferas para medição de POLN (%). 79

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 – Variação espacial e temporal dos modelos simulados. 81
Figura 4.2 – Variação espacial e temporal dos modelos simulados – destaque para os cenários. 82
Figura 4.3 – Frequência útil anual dos modelos simulados. 83
Figura 4.4 – Média da variação espacial e temporal por cenário – boxplots. 84
Figura 4.5 – Intervalo de confiança – Cenários. 86
Figura 4.6 – Média da variação espacial e temporal por proteção – boxplots. 87
Figura 4.7 – Intervalo de confiança – Proteções. 88
Figura 4.8 – Média da variação espacial e temporal por pavimento – boxplots. 89
Figura 4.9 – Intervalo de confiança - Pavimentos. 90
Figura 4.10 – Média da variação espacial e temporal por orientação – boxplots. 91
Figura 4.11 – Intervalo de confiança - Orientações. 93
Figura 4.12 – Percentual de área iluminada – Cenários e Proteções das fachadas. 94
Figura 4.13 – Percentual de área iluminada – Pavimentos e Orientações. 97
Figura 4.14 – Ofuscamento no Modelo Base – Atual (M1) - Boxplots. 100
Figura 4.15 – Ofuscamento no Modelo Isolado (M2) - Boxplots. 101

Figura 4.16 – Ofuscamento no Modelo Ocupação Máxima 60% - Sem proteção (M3_AP0) – Boxplots. 101
Figura 4.17 – Ofuscamento no Modelo Ocupação Máxima 60% - Proteção 1,50m (M3_AP150). 102
Figura 4.18 – Ofuscamento no Modelo Ocupação Máxima 90% - Sem proteção (M3_BP0). 103
Figura 4.19 – Ofuscamento no Modelo Ocupação Máxima 90% - Proteção 1,50m (M3_BP150) – Boxplots. 103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Classificação dos tipos de céu adotados pela CIE. 27
Tabela 1.2 - Níveis de iluminação para ambientes residenciais. 39
Tabela 1.3 - Faixas de predição de ofuscamento. 48

Tabela 2.1 - Modelo de tabela utilizada para cálculo do coeficiente de reflexão médio dos edifícios. 56
Tabela 2.2 - Dados de entrada para simulação em modelos com a presença de proteção solar. 62
Tabela 2.3 - Relatório de resultados do Daysim. 63
Tabela 2.4 - Faixas de predição de ofuscamento. 68

Tabela 3.1 - Procedimento de cálculo da refletância média. 72
Tabela 3.2 - Síntese total das simulações. 77

Tabela 4.1 – Resultado do teste de hipóteses – Cenários. 85
Tabela 4.2 – Resultado do teste de hipóteses – Proteções. 88
Tabela 4.3 – Resultado do teste de hipóteses – Pavimentos. 90
Tabela 4.4 - Resultado do teste de hipóteses - Orientações. 92
Tabela 4.5 - Percentual de área iluminada com INU>75% - Cenários e proteções. 95
Tabela 4.6 - Percentual de área iluminada com INU>75% - Pavimentos e orientações. 98
Tabela 4.7 - Teste Qui-quadrado de Pearson (X^2) – Variáveis de entorno. 105
Tabela 4.8 - Modelo logístico – Tipo de ocupação. 105
Tabela 4.9 - Modelo logístico – Proteção. 107
Tabela 4.10 - Teste Qui-quadrado De Pearson (X^2) – Variáveis do edifício. 108
Tabela 4.11 - Modelo logístico – Cenário Base (M1). 109
Tabela 4.12 - Modelo logístico – Cenário Isolado (M2). 110
Tabela 4.13 - Modelo logístico – Cenário Ocupação Máxima Reflexão 60% (M3A). 111
Tabela 4.14 - Modelo logístico – Cenário Ocupação Máxima reflexão 90% (M3B). 112

Tabela 4.15 – Comparativo entre variáveis de ocupação - cenários. 115
Tabela 4.16 – Comparativo entre variáveis de proteção. 116
Tabela 4.17 – Comparativo entre variáveis de pavimento. 117
Tabela 4.18 – Comparativo entre variáveis de orientação. 118

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 18

1. Capítulo 22

1 REFERENCIAL TEÓRICO 23

1.1. ILUMINAÇÃO NATURAL E O CONFORTO VISUAL 23

1.2. VARIÁVEIS DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS 27

1.2.1. DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL 27

1.2.2. PARÂMETROS URBANOS 30

1.2.3. PARÂMETROS ARQUITETÔNICOS 32

1.3. INDICADORES DE DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO NATURAL 37

1.3.1. MÉTRICAS DINÂMICAS 37

1.3.2. OFUSCAMENTO 41

2. Capítulo 49

2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO 50

2.1. CONSTRUÇÃO DO OBJETO DE ANÁLISE – ETAPA I 50

2.1.1. Escolha do recorte 50

2.1.2. Levantamento das características construtivas 52

2.1.3. Coeficiente de Reflexão Médio 54

2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS 56

2.2.1. Definição das variáveis do cenário – Entorno 57

2.2.2. Definição das variáveis do edifício de análise 58

2.2.3. Combinação dos modelos 59

2.3. CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS – SIMULAÇÃO – ETAPA III 60

2.3.1. *Daysim* 3.1 *Beta* 60

2.3.2. Aplicativo *Evalglare* 63

2.4. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO – ETAPA IV 64

2.4.1. Desempenho anual da luz natural 65

2.4.2. Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural – POLN 67

3. Capítulo 70

3 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE ANÁLISE 71

3.1. COEFICIENTE DE REFLEXÃO MÉDIO 71

3.2. CENÁRIOS, EDIFÍCIOS DE ENTORNO E EDIFÍCIO DE ANÁLISE 72

3.3. PROCESSAMENTO DAS SIMULAÇÕES 77

4. Capítulo 80

4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES 81

4.1. DISTRIBUIÇÃO DA LUZ NATURAL - UNIFORMIDADE 81

4.1.1. TIPO DE OCUPAÇÃO 84

4.1.2. TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR 87

4.1.3. ALTURA DO PAVIMENTO 89

4.1.4. ORIENTAÇÃO 91

4.2. PERCENTUAL DE ÁREA ILUMINADA 93

4.2.1. TIPO DE OCUPAÇÃO E DE PROTEÇÃO SOLAR 94

4.2.2. ALTURA DO PAVIMENTO E ORIENTAÇÕES 96

4.3. PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO DA LUZ NATURAL (POLN) 99

4.3.1. VARIÁVEIS DE ENTORNO 104

4.3.2. VARIÁVEIS DO EDIFÍCIO 108

4.4. COMPARATIVO ENTRE VARIÁVEIS 113

5. Conclusão..... 119

5 CONCLUSÕES 120

Referências bibliográficas..... 124

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 125

Apêndice..... 131

Apêndice 01 – MAPA DO BAIRRO DE MANAÍRA 132

Apêndice 02 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DA AMOSTRA 133

Apêndice 03 – COEFICIENTE DE REFLEXÃO MÉDIO 134

Apêndice 04 – DESEMPENHO DA LUZ NATURAL 147

Apêndice 05 – BOXPLOT – GRÁFICO DE CAIXAS 152

Introdução

Existem muitas razões para explorar o uso da luz natural nas edificações, a primeira delas está no seu reconhecimento como fonte abundante e acessível. Classificada como forte veículo de expressão da arquitetura a luz natural dispõe de qualidades lumínicas incomparáveis em relação a qualquer outra fonte, em consequência da sua variabilidade de contrastes e intensidades e ao melhor índice de reprodução de cores (IRC) que intuitivamente atrai a atenção dos homens.

A luz natural penetra efetivamente no ambiente interno através das fenestrações. O seu potencial de aproveitamento varia de acordo com a radiação solar direta, a luz proveniente da abóbada celeste, das reflexões nas obstruções externas e superfícies internas. Sendo a componente refletida uma importante variável, evidencia a grande influência do entorno edificado nos cálculos de iluminação natural.

Diante das interferências da luz refletida pelas superfícies das fachadas, solo e vegetação, muitas pesquisas avaliam a disponibilidade de luz natural como fonte de iluminação para ambientes internos. Tal pressuposto foi indicado por autores como Tsangrassoulis *et al* (1999), Ünver *et al* (2003), Santos (2007), Araújo (2006), Laranja (2010) e Córica e Pattini (2011) quando investigaram as interposições nas condições lumínicas internas alteradas de acordo com as características da malha urbana, tais como altura das edificações obstruídas, largura das vias, variados cânions urbanos ou até mesmo a forma das fachadas.

Com efeito, tais reflexões dependem da geometria urbana descrita acima, também sofrendo modificações em decorrência das propriedades das superfícies e seu coeficiente de reflexão determinado pela cor e textura. Neste sentido, as particularidades das superfícies dos edifícios conduzem a frequentes variações na distribuição da luz natural nos espaços internos de edificações circunvizinhas.

Produto do processo de verticalização, a malha urbana tende a atingir um patamar de adensamento que vem a comprometer a qualidade visual de quem habita ou trabalha nos ambientes internos, de modo que um estudo desta natureza pode prever a situação futura de conforto dos usuários. Para Mesa (2005), superfícies verticais (fachadas) próximas dos

edifícios em análise, quando refletoras, podem incrementar o recurso lumínico em até 110% nos ambientes internos em condições de céu claro. Ao mesmo tempo em que auxilia no aumento da iluminação no interior dos edifícios, a propriedade de reflexão também pode alterar outros fatores quando ultrapassada a faixa útil de luz e ocasionar ofuscamento.

O impacto do entorno construído tem sido pouco considerado na legislação edilícia, principalmente no que tange à iluminação natural e, mais especificamente, ao conforto visual – variáveis interdependentes. Como exemplo, pode-se tomar o Regulamento Técnico de Qualidade das Edificações Residenciais – RTQ-R (2009). Dentre as requisições do RTQ-R, se destaca a utilização de revestimento externo com absortância[1] solar baixa, ou seja, a predominância de cores claras nas superfícies das fachadas. Juntamente com o regulamento, a norma de zoneamento bioclimático[2] NBR15220/3: 2005 aponta diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 8 (ZB8), recomendando o uso de vedações externas, como paredes e cobertura compostas de estrutura leve e refletora. Esses requisitos englobam apenas aspectos adequados ao conforto térmico, tendo pouca relevância em relação às peculiaridades lumínicas naturais. As consequências da adoção destes critérios devem ser analisadas, tendo em vista o nível de iluminação refletida e a ocorrência de ofuscamento.

A luz natural refletida pelo entorno contribui com níveis suficientes para a redução dos gastos em consumo com as fontes artificiais (LARANJA, 2010). No entanto, além do ganho lumínico, faz-se necessário uma investigação relacionada aos níveis excessivos de iluminância. Tais valores de iluminância, quando ultrapassados os limites úteis, comprometem o desempenho visual. Para alcançar um nível aceitável de satisfação dos usuários é indispensável, além do controle da luz solar direta e refletida, um estudo mais acurado referente ao ofuscamento. Neste sentido, autores sugerem a inserção de dispositivos de sombreamento, como meio eficaz de controle de iluminâncias em demasia, permitindo ainda a uniformidade da fonte de luz no ambiente interno.

Sabe-se que elementos de proteção nas aberturas influenciam significativamente o comportamento da iluminação natural. Contudo, pouco se tem comprovado acerca da influência desses dispositivos sobre as edificações do entorno, enquanto elementos que absorvem e refletem a luz.

Com base nos estudos precedentes sobre o tema, o presente trabalho tem como objeto de estudo a iluminação natural em edificações e sua relação com as variáveis do

[1] Para o RTQ, o coeficiente de absorção não deve ultrapassar a margem inferior a 0.4.
[2] Região geográfica homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre ambiente construído e conforto humano (NBR 15220/3: 2005).

entorno, como o uso de proteção solar horizontal e a obstrução do céu. Neste sentido, o objetivo geral é avaliar a influência do entorno sobre iluminâncias e ofuscamento em ambientes internos a partir de estudo de caso em edifícios residenciais inseridos em recorte urbano no bairro de Manaíra em João Pessoa/PB.

Como objetivos específicos, tem-se:

- Caracterizar a distribuição e a frequência útil anual da luz natural em ambientes internos inseridos em diferentes cenários urbanos, baseados em uma configuração urbana real (estudo de caso) e hipotética, considerando o cenário sem entorno e o de máxima ocupação permitida pela legislação.
- Identificar o impacto de variações nas fachadas de entorno – grau de obstrução, reflexão das superfícies verticais e dispositivos de proteção horizontal – sobre as iluminâncias dos espaços internos localizados em pavimentos e orientações distintos.
- Caracterizar os modelos com maior impacto quanto à probabilidade de ofuscamento da luz natural (*Daylight Glare Probability)* de acordo com as variáveis do entorno e do edifício.

Espera-se ainda contribuir com a proposição de uma metodologia de análise que considere simultaneamente a edificação e o seu entorno, utilizando na análise, espacial e temporal, variáveis associadas aos aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação natural.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O capítulo 1 corresponde ao referencial teórico, onde se procurou promover uma revisão do tema proposto na dissertação, por meio da literatura existente relacionada aos estudos sobre iluminação natural, variáveis de interferência e os indicadores de desempenho.

No capítulo 2 está descrito o procedimento metodológico adotado, de acordo com ~~a~~ os objetivos propostos no trabalho. Além do detalhamento do levantamento das principais características urbanas e edilícias do recorte urbano em estudo, descreve-se a construção e caracterização dos modelos a serem simulados, bem como as variáveis escolhidas para avaliação. O final do capítulo aborda o método utilizado para comparação entre o desempenho lumínico e visual nos ambientes internos, inseridos nos distintos cenários, assim como a metodologia adotada para a realização das simulações e as análises das variáveis dependentes.

No capítulo 3, são apresentados os resultados referentes à definição e análise do objeto de estudo, com a identificação do coeficiente de reflexão médio das superfícies verticais. Na sequência, são discutidos os resultados dos testes estatísticos aplicados para realização de comparativos entre as variáveis e o processo de classificação quanto à distribuição das iluminâncias, níveis de iluminação natural e ofuscamento nos ambientes internos em estudo.

Por fim, no capítulo 4 são apresentadas as conclusões com recomendações para trabalhos futuros.

1. Capítulo

1 REFERENCIAL TEÓRICO

As condições ambientais influenciam significativamente a saúde e bem estar dos usuários dos espaços afetando no desempenho organizacional e na produtividade, bem como nas condições de percepção do ambiente, podendo gerar desconfortos físicos e psicológicos. As características do ambiente construído relacionadas ao acesso à fonte de luz natural e ao controle da incidência da iluminação são definidas pelas aberturas e as características das vistas do ambiente externo.

Diante de inúmeras variáveis – a forma dos edifícios, o tamanho das aberturas, as superfícies externas e internas – a luz natural nos interiores apresenta comportamentos distintos. Tais variáveis são responsáveis pela distribuição da luz, gerando desde zonas pouco iluminadas, que necessitam de fontes artificiais para complementação, a zonas excessivamente iluminadas, a ponto de provocar sobrecarga térmica e comprometer o conforto visual.

A CIBSE (2001) denomina um espaço bem iluminado naturalmente como ambiente mais saudável, dinâmico e produtivo, principalmente se este oferecer maior contato com o exterior. No entanto, é a qualidade da luz, dificilmente quantificada pelos ocupantes, que os faz preferir espaços iluminados por fontes naturais, confirmando ainda uma melhoria na produtividade e bem estar dos usuários.

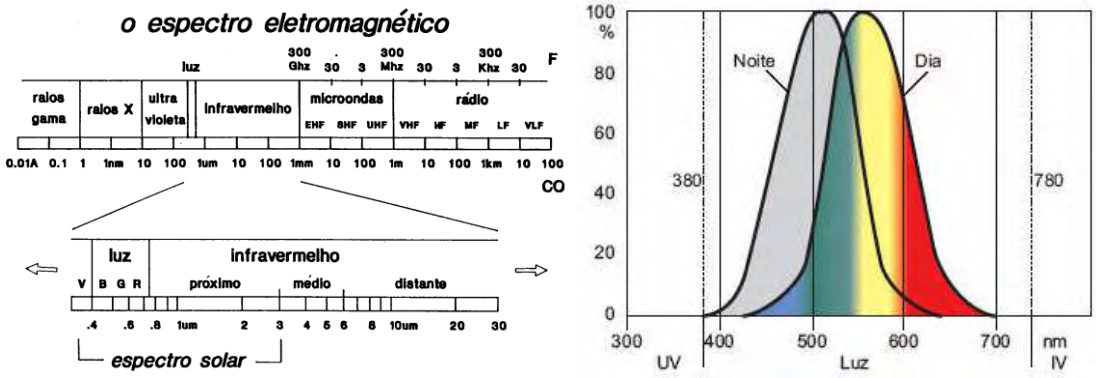
Sobre este contexto, os tópicos seguintes abordam o tema: luz e iluminação natural, considerando a análise e avaliação da iluminação natural em espaços internos. Como enfoque principal se destaca às contribuições lumínicas e visuais, diante da influência exercida por variáveis urbanas e arquitetônicas. Por fim, foram listados os critérios de avaliação de desempenho quantitativo e qualitativo, indicando as métricas atualmente mais utilizadas, bem como a relação existente entre a uniformidade como uma variável quantitativa e qualitativa e as iluminâncias excessivas, também qualitativa, associada ao ofuscamento.

1.1. ILUMINAÇÃO NATURAL E O CONFORTO VISUAL

Resultado da combinação da luz do sol com a do céu e do entorno, a luz natural é a fonte que mais se aproxima da nossa resposta visual. A luz com a qual estamos acostumados há milhões de anos e que proporciona maior qualidade de percepção ao ambiente. Muitas

pesquisas vêm investigando os efeitos da qualidade da iluminação em espaços internos aliados ao desempenho, conforto e satisfação dos ocupantes. Em adição aos fatores psicológicos visualmente percebidos, a luz apresenta ainda efeitos não visuais sobre a fisiologia, como controle do relógio biológico (Figura 1.1) – o ritmo circadiano – atingido por padrões de exposição à luz e a ausência dela (VEITCH, 2001; VEITCH *et al*, 2003; AYRES *el al*, 2010).

Figura 1.1 – Espectro eletromagnético–destaque para espectro solar.



FONTE – Robbins(1986) e Manual Osram (2009).

Muito mais do que permitir visibilidade, a luz, como agente da nossa percepção e de reconhecimento do nosso entorno, é uma forma de comunicação que contribui na orientação espacial e permite que a visão identifique com facilidade as informações de movimentos. A iluminação tem a potencialidade de modificar não somente o estado de operação visual, mas também de afetar a maneira em que o ser humano realiza ou desenvolve tarefas, podendo atuar como fator positivo (COLOMBO *et al*, 2006). Evidencia-se, neste sentido, a relação vital entre a fonte natural e o homem, não restrita apenas a fatores físicos, mas especialmente psicológicos. Em decorrência dos aspectos positivos associados à luz natural e à variabilidade na sua composição espectral, torna-se difícil a simples comparação entre iluminação natural e artificial, através dos mesmos parâmetros (FONTOYNONT, 2002).

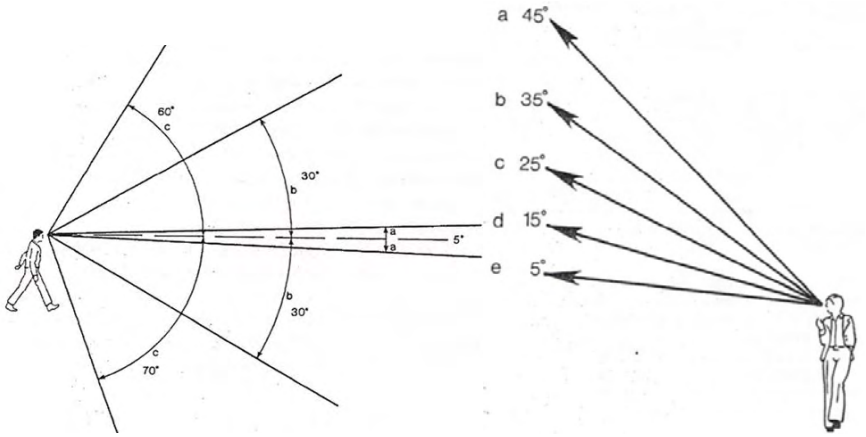
O olho é o órgão sensorial capaz de perceber a porção do espectro de radiação definida pela luz. Seu mecanismo de captação de energia luminosa converte em sinais elétricos e envia para o cérebro interpretar e dar significado as imagens (GRANDJEAN, 1998).

A boa visão é um requisito fundamental para o desempenho das tarefas prolongadas. Além disso, é primordial que o ambiente receba iluminação adequada. Conforme cita Araújo (2006), a fonte de luz pode melhorar fatores fisiológicos relacionados à eficiência visual, estando ligado ao contraste, cor, acuidade, velocidade e precisão. Qualquer inconformidade

no processo de adaptação visual acarreta na alteração de fatores comportamentais, surgindo assim desconfortos, redução de eficiência e fadiga.

Um dos desconfortos visuais mais comuns é o fenômeno do ofuscamento. Conceitua-se como resultado da luz indesejada proveniente de uma ou mais fontes com brilho que leva a excitação em demasia das células da retina. Grandjean (1998) se apoia nos desdobramentos sobre a capacidade de aceitação do olho humano à superfícies com brilho elevado incidido diretamente na área foveal[3] de visão, sobretudo pela diferença considerável entre o brilho permitido no eixo central e na área periférica (Ver Figura 1.2a e 1.2b).

Figura 1.2 - (a)Campo de visão típico. (b) – Relação entre luminância e ângulos de visão – série típica de conforto visual: a) 750 fL, b) 535 fL c) 375 fL, d) 250 fL, e) 170 fL.



FONTE – Robbins (1986).

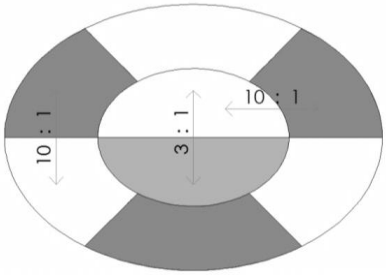
Esta diferença é percebida quando ocorrem variações de brilhos no campo de visão, afetando principalmente áreas próximas à região central. Neste estágio, o olho passa a ter dificuldade de distinguir detalhes, principalmente na área com menor parcela de brilho. As regiões periféricas, por sua vez, são mais suscetíveis ao desconforto e a redução de acuidade visual.

As condições de conforto visual dependem da quantidade, intensidade, qualidade e distribuição de luz num determinado espaço, sendo indicadas pelo fator luz-dia, que deve ser apropriado de modo a proporcionar boa definição de cores, sem interferência do ofuscamento (GRANDJEAN, 1998). A partir de constatações do autor sobre a influência do contraste no conforto visual tem-se examinado qual o nível de luminância aceitável pelos olhos. A partir de

[3] Região central da retina do olho humano onde se concentram os cones (células fotossensíveis capazes de reconhecer as cores) e onde se forma a imagem que será transmitida ao cérebro.

dados precedentes, mensurou-se a proporção de contraste de luminâncias no campo visual de 3:1 e 10:1, correspondente à porção central e periférica (Ver Figura 1.3).

Figura 1.3 – Níveis permitidos de contrastes de luminâncias no campo visual.



FONTE – Grandjean (1998) adaptado pela autora.

Embora o mundo da ciência apresente uma sólida compreensão da física da luz, a resposta humana não é tão clara, mesmo estando associadas aos aspectos fisiológicos e as condições de iluminação. Mead (2011) exemplifica esta afirmação com os estudos relativos ao contraste e a luminância, o que tem mostrado não ser a única variável que afeta o desconforto visual. Os indivíduos são mais suscetíveis à aceitação do brilho em condição de iluminação artificial que sob a luz do dia, em decorrência de sua capacidade em lidar com maiores intensidades e contraste em seu campo de visão com fonte de luz natural.

Os efeitos fisiológicos do desconforto visual podem incluir irritação e coceira nos olhos, dores de cabeça, náuseas, problemas gastrintestinais e fadiga (EBLE-HANKINS, 2008). Neste sentido, torna-se difícil mensurar os impactos das condições de iluminação sobre os indivíduos diante das consequências mencionadas, uma vez que as respostas também variam significativamente de pessoa para pessoa. Investigações desta natureza se configuram como projetos desafiadores, por serem desenvolvidos, em sua maioria, a partir de análises subjetivas.

Poucos estudos abordam a relação entre os aspectos visuais em ambientes residenciais, tendo foco principal os escritórios e ambientes de trabalho. Veitch (2011) investiga o balanço entre a exposição da luz nos olhos e a prevenção de problemas de ofuscamento, levando em consideração grupos de idades residentes em localidades distintas. Diferentemente dos escritórios, estima-se que o brilho excessivo em ambientes residenciais seja mais tolerável, por se tratar de espaços com maior liberdade de movimento e principalmente flexibilidade na disposição do layout.

1.2. VARIÁVEIS DA ILUMINAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES INTERNOS

1.2.1. DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL

A condição da abóboda celeste é considerada uma das principais variáveis para quantificar o nível de iluminação natural. O cálculo da estimativa da disponibilidade de luz natural é descrito pela NBR 15215-2 (2005) adotando três tipos de céu distintos: céu claro com a inexistência de nuvens ou baixa nebulosidade, céu encoberto com a superfície da abobada celeste completamente preenchida por nuvens e céu parcialmente encoberto com condição intermediária entre céu claro e céu encoberto.

Tais categorias de céus foram muito empregadas em estudos sobre iluminação natural. No entanto, a *Commission Internationale de L'Eclairage* (CIE) adotou nova classificação de modelos de céu (Tabela). Resultando em quinze categorias, foram definidos cinco nublados, cinco parcialmente nublados e cinco claros, amplamente aplicada nas avaliações de métricas dinâmicas de luz natural e estudos envolvendo simulação computacional.

Tabela 1.1 - Classificação dos tipos de céu adotados pela CIE.

TIPO DE CÉU	DISCRIMINAÇÃO
01	Céu encoberto padrão, graduação intensa de luminâncias em direção ao zênite, com uniformidade nos azimutes.
02	Céu encoberto, graduação intensa de luminâncias em direção ao zênite, com suave brilho em direção ao Sol
03	Céu encoberto, moderadamente graduado, com uniformidade nos azimutes
04	Céu encoberto, moderadamente graduado, com suave brilho em direção ao Sol
05	Céu de Luminância Uniforme
06	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com suave brilho em direção ao Sol
07	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com região circunsolar brilhante
08	Parcialmente nublado, sem graduação de luminâncias em direção ao zênite, com coroa solar distinta
09	Parcialmente nublado, com o sol obscurecido
10	Parcialmente nublado, com região circunsolar brilhante
11	Céu Branco-Azul, com coroa solar distinta
12	Padrão Céu Claro CIE, com luminâncias de baixa turbidez.
13	Padrão Céu Claro CIE, com atmosfera poluída
14	Céu Turvado Sem Nuvens, com ampla coroa solar
15	Céu Turvado Branco-Azul, com ampla coroa solar

FONTE – ISO 15469:2004 Spatial distribution of daylight - CIE standard general sky, adaptado pela autora.

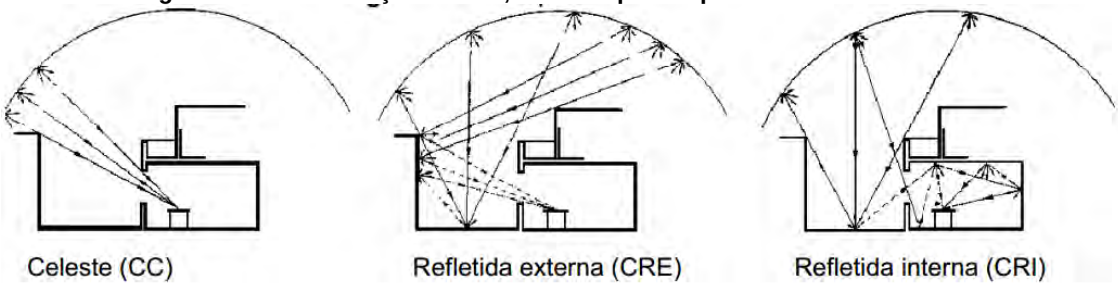
O predomínio dos céus claros e parcialmente nublados torna a radiação direta intensa e frequente. Estes, por sua vez, necessitam de sombreamento, mas também geram uma

disponibilidade considerável de luz refletida. Dependendo das características das superfícies, é provável a ocorrência de reflexões capaz de converter a luz direta em iluminação difusa.

O céu parcialmente nublado apresenta atributos semelhantes ao céu claro e ao céu encoberto. As nuvens espaçadas deixam aparente o céu azul e permitem a presença da iluminância solar direta. As nuvens podem obstruir o sol, bloqueando a iluminância solar e adquirindo contornos extremamente brilhantes. Por vezes elas podem estar na direção oposta e formar superfícies refletoras. Embora inconstante e com grandes variações, a radiação difusa e direta é alta e converte o entorno em uma fonte de luz importante (ARAÚJO, 2006).

A determinação da refletividade do entorno é uma importante variável por apresentar influência na distribuição da luz natural. Destaca-se a reflexão externa como uma das três componentes utilizadas para o cálculo da iluminação natural, tendo ainda a de céu e de reflexão interna (Figura 1.4). Considerando o efeito das obstruções, a componente refletida externa – CRE provoca reflexões entre as superfícies dos edifícios e entre os edifícios e o solo quando o plano de referência vertical apresenta maior distância de obstrução.

Figura 1.4 - Contribuição do céu, refletida pela superfície externa e interna.



Fonte: NBR 15215-3 (2005).

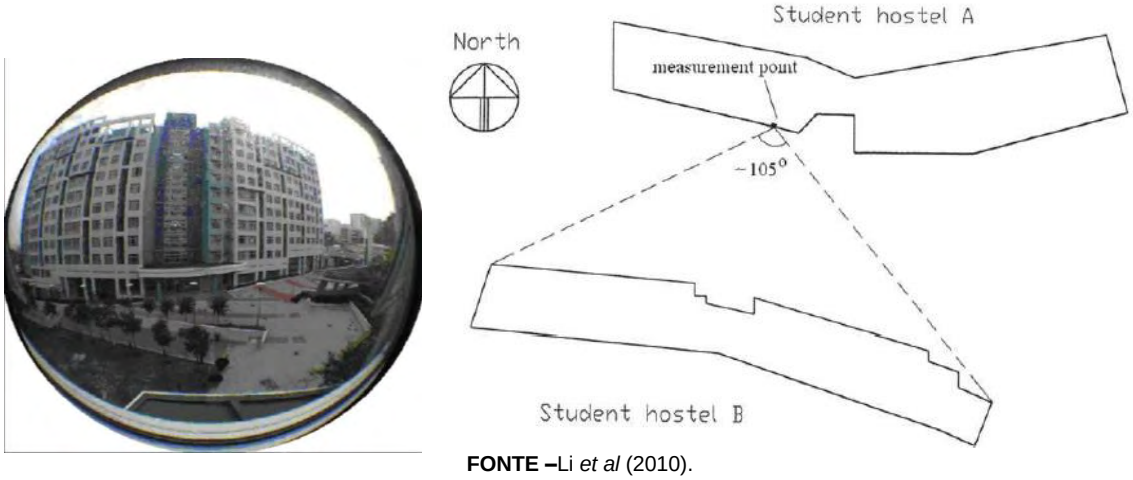
Quando os edifícios são locados próximos um dos outros, o bloqueio da luz natural pode ser severo, principalmente nos andares inferiores. Dentre os riscos provocados pela componente externa, Robbins (1986) caracteriza as obstruções que bloqueiam mais de 50% do campo de visão com elevado coeficiente de reflexão, podendo inclusive ser consideradas fonte de ofuscamento.

Tsangrassoulis *et al* (1999) desenvolvem um método para estimar variações de níveis de iluminância em superfícies verticais orientadas a Sul decorrentes da luz natural refletida em fachadas opostas e sob condição de céu claro. Para isso, uma nova variável é introduzida, a Iluminância Multiplicadora da Obstrução (*Obstruction Illuminance Multiplier - OIM*), definida pela razão da iluminância vertical recebida pelo céu, sol e a obstrução, e iluminância vertical na mesma superfície sem a ação da obstrução.

Da mesma forma, Li *et al* (2010) analisa o efeito da iluminação de edificações, quando inseridas em espaços urbanos com densidade elevada, a partir da superfície da fachada obstruída. Este estudo foi realizado em edifícios de moradia dos estudantes da Universidade de Hong Kong, composto por 12 andares, considerando medições e simulações no primeiro pavimento. As medições tiveram como parâmetro a iluminância da superfície vertical, a fim de comparar os resultados das duas situações.

Como ilustra a Figura 06, fica evidente que certa quantidade de céu foi bloqueada, uma vez que os ângulos de obstrução medidos do centro da janela, abaixo e acima do plano horizontal, são de 42,9º e 15,5º, respectivamente. Já o ângulo de obstrução no plano de visão do observador é de aproximadamente 105º, mensurados nas extremidades da fachada oposta, como demonstra a Figura 1.5 (LI *et al*, 2010). Como resultado, foi avaliado um modelo simulado em comparação com dados resultantes de medição na superfície vertical, a fim de analisar as áreas sombreadas e as que recebiam insolação (com e sem proteção solar), chegando a uma margem de erro de 4,2% e 5,3%, respectivamente.

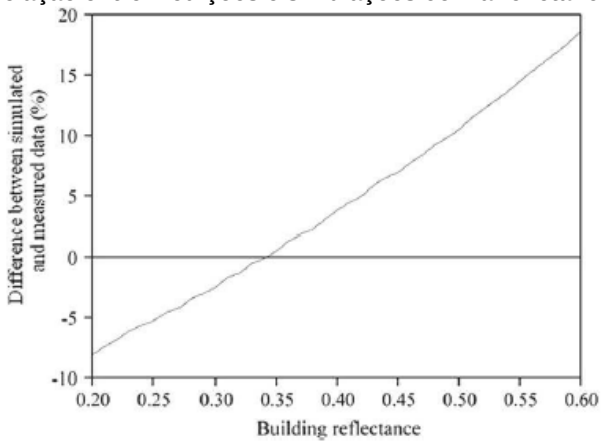
Figura 1.5 - Imagem olho de peixe mostrando a vista externa do ambiente interno em estudo. Esquema de localização dos edifícios com ângulo e ponto de medição.



FONTE –Li *et al* (2010).

Ilustrada na Figura 1.6, esta diferença foi determinada a partir da relação entre os dados gerados nas ferramentas e a refletância das fachadas, sendo estas diretamente proporcionais. À medida que se aplica cores claras com alto coeficiente reflexão nos edifícios, se confirmará diferenças significativas entre os resultados de medição e simulação.

Figura 1.6 - Relação entre medições e simulações com a refletância do edifício.



FONTE – Li *et al* (2010).

1.2.2. PARÂMETROS URBANOS

A necessidade de avaliar a interferência do entorno na iluminação dos ambientes internos não é um preocupação recente. Vários pesquisadores consideram a influência do entorno como uma importante fonte de luz, principalmente em locais com presença de sol em malha urbana obstruída.

Cintra (2011), com suporte em Moares e Scarazzato (2003), destaca o adensamento urbano e a verticalização como questões que dificultam o aproveitamento da iluminação natural no espaço urbano. Em contrapartida, Ünver *et al* (2003) caracterizam a obstrução do céu como variável relevante e de grande influência na iluminação de espaços internos.

Quanto aos efeitos dos cânions urbanos, Suga (2005) destaca a relação entre a altura de prédio (H) e largura da caixa de rua (W). Em sua análise na cidade de Curitiba, averiguou as condições de iluminação natural em eixos principais da cidade, onde não se impõe limites de gabarito.

Uma das reflexões do autor se baseia na possível construção de arranha-céus que superem a relação H/W=1 ou se aproximem à relação H/W=2. Caso opte por cânions urbanos[4] profundos, haverá uma menor quantidade de iluminação natural disponível para os ambientes próximos ao solo, sendo necessário o acionamento de energia elétrica para iluminação.

[4] Um cânion urbano é uma forma de disposição espacial das edificações quando estas estão enfileiradas ao longo de uma rua em ambos os lados.

Outra razão para evitar prédios com o dobro da largura de uma rua seria o sombreamento excessivo que pode ocasionar nas edificações adjacentes e mais baixas. Considerando a latitude da cidade em análise, áreas sombreadas não trarão benefícios, especialmente no período crítico do inverno, quando a altura solar é menor.

Investigações quanto à luz refletida pelo entorno foram avaliadas por Tregenza (1995) ao desenvolver o cálculo da componente refletida no solo na iluminação média em plano de trabalho, comprovando sua validação como fonte auxiliar para iluminação dos ambientes internos. Cabús (2002) aponta que estudos desta natureza contribuem com ganhos de 10% a 40%, sendo os valores mais altos sob condição de luz solar direta que incide diretamente no piso.

Sob esta ótica, Araújo (2006) relaciona a influência do ângulo de obstrução vertical e da iluminância do ambiente, resultantes em valores diretamente proporcionais, especificamente para regiões localizadas no trópico úmido. Do mesmo modo, Brandão e Alucci (2005) relatam que a obstrução do entorno exerce influência significativa no consumo de energia com fontes artificiais, podendo alcançar uma redução em 31% do consumo total.

Estudo similar foi desenvolvido por Laranja (2010) em seu doutoramento, cuja abordagem relacionou os parâmetros urbanos e a disponibilidade de luz natural. Tal estudo investigou as interferências no desempenho lumínico dos ambientes internos em edifícios localizados na cidade de Vitória. Pode-se, assim, constatar alterações anuais de iluminância útil em intervalos de alturas das edificações, acarretando em reduções significativas para obstruções entre 9 e 42m, diminuindo a quantidade de luz a partir de 53m, como demonstrada na Figura 1.7. Os edifícios mais altos potencializam o ganho lumínico em ambientes internos.

Figura 1.7 - Porcentagem de variação da média anual de iluminância global em função do tipo de céu e das alturas das edificações obstruidoras.

Iluminância Global							
Céu / Altura (m)	9	20	31	42	53	64	75
Céu 3	-	-6,27%	-19,40%	-20,48%	-15,11%	-11,99%	-9,25%
Céu 7	-	-4,01%	-15,78%	-24,24%	-19,33%	-14,56%	-12,56%
Céu 12	-	-4,86%	-19,78%	-28,68%	-21,34%	-13,65%	-12,45%

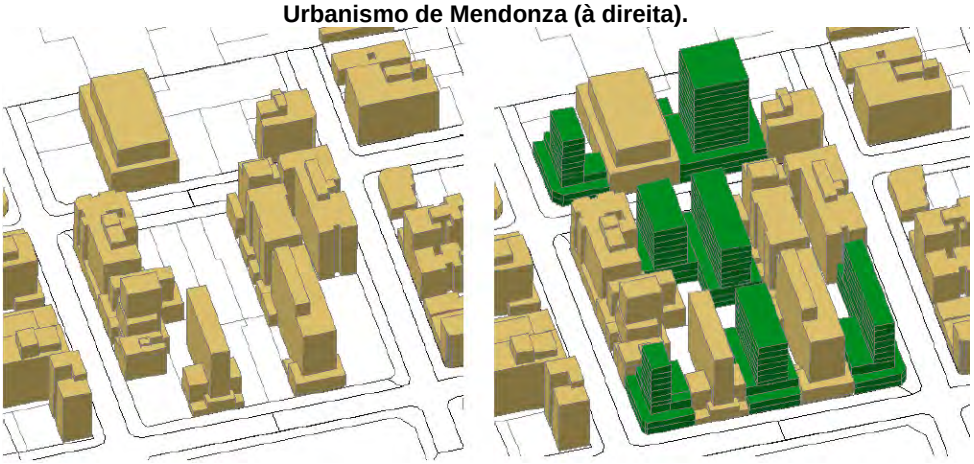
FONTE – Laranja (2010).

Em conjunto ao estudo das obstruções, Laranja (2010) ainda analisa a influência da largura das vias, com enfoque diferente de Suga (2005). Através de simulação da superfície horizontal, caracterizou as vias com dimensões de 12, 18, 20 e 26m, em três condições de céu e com orientações Norte-Sul e Leste-Oeste, demonstrando aumento gradativo nos

valores de iluminância. Como parâmetro fixo, permaneceram constantes as alturas das obstruções, orientação da via, recuos e as refletâncias das superfícies.

Córica e Pattini (2011), por sua vez, avaliam a contribuição da fonte natural com base na última reforma realizada no Código de Urbanismo e de Edificações na cidade de Mendoza. Como estudo de caso, se examinou a situação real do cenário, bem como sua configuração de acordo com os indicadores mais atuais para o aproveitamento máximo da área (Figura 1.8).

Figura 1.8 - Modelo do cenário da situação real (à esquerda) e malha adensada, segundo novo Código de Urbanismo de Mendonza (à direita).



FONTE – Córica e Pattini (2011).

Em seus resultados preliminares, confirmou a contribuição significativa da componente difusa e refletida do entorno urbano de alta densidade. Embora tais superfícies promovam um ganho lumínico, os autores alertam também sobre as situações em que a exposição ocorre de forma direta, sendo necessário controlar os efeitos de desconforto visual e de sobrecarga térmica, sobretudo em períodos ensolarados.

1.2.3. PARÂMETROS ARQUITETÔNICOS

Além do entorno, do formato e tamanho da edificação, as características do ambiente interno – profundidade, pé-direito e coeficiente de reflexão das superfícies internas –, abertura – orientação, dimensionamento, posicionamento e detalhes, coeficiente de transmissão do vidro – e o uso de proteção contra a radiação solar, são variáveis determinantes para iluminação natural nos espaços construídos (MULLER *et al*, 1997).

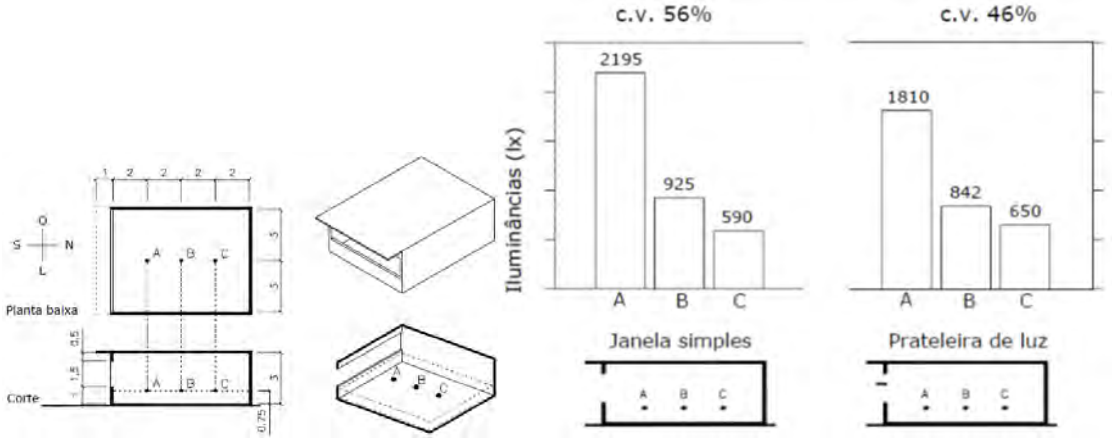
Principal canal de comunicação dos ambientes internos com o meio externo, as aberturas são consideradas elementos integrantes da arquitetura. São projetadas como estratégias de inserção da fonte natural para espaços construídos, advindas do sol, do céu ou entorno. Para Tibirica e Ferraz (2005), tais componentes de passagem de luz demandam estudos sistêmicos, em decorrência do grau de exigência para gerar condições de controle dos níveis de conforto desejados. Além de ocupar uma grande porção do campo visual, são fontes potenciais de ofuscamento.

A influência dos elementos externos de proteção solar, como varandas, marquises e brises horizontais e verticais está relacionada com a melhoria da distribuição da luz no ambiente, como também na questão do conforto visual do usuário, através do controle do ofuscamento e da redução de contraste.

Bittencourt e Didoné (2006) investigaram o desempenho de proteções solares com brises mistos (horizontais e verticais com diferentes larguras) na iluminação natural de ambientes internos. Os autores comprovaram que tais anteparos reduzem o contraste de luminosidade e aumentam a uniformidade luminosa nos espaços, funcionando ainda como fonte de luz secundária, a partir da reflexão de parte da radiação solar para o ambiente interno.

Do mesmo modo, Cabús (2005) analisa a influência da prateleira de luz na iluminação natural dos espaços internos, bem como sua interação com a luminosidade do céu e do solo, de modo direto e refletido, quando situada sob marquise. Situações com janelas sem dispositivo e com prateleira de luz de 0,50m de largura a 1,00m do peitoril da abertura são analisadas, inseridas em uma sala de referência localizada na cidade de Maceió – AL, com abertura orientada para Sul (Figura 1.9a).

Figura 1.9 - (a) Sala de referência, plano de trabalho e pontos analisados. (b) Comparação dos níveis de iluminância nos pontos analisados para janela simples e prateleira de luz.

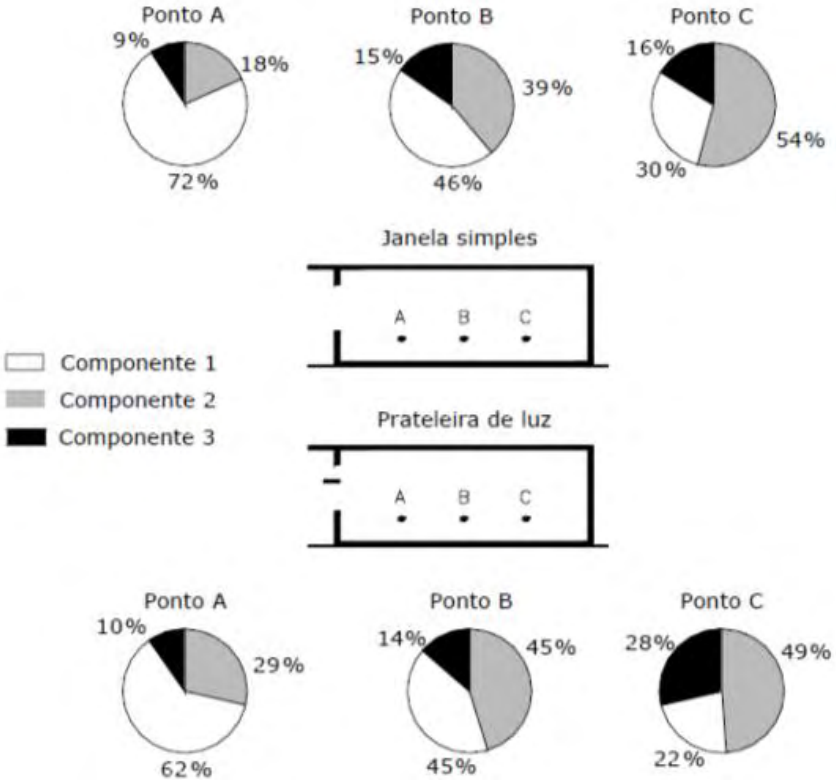


FONTE – Cabus (2005).

Os dois modelos foram comparados, quanto ao coeficiente de variação de iluminância, a partir de medições em três pontos correspondentes ao plano de trabalho e dispostos ao longo do comprimento do ambiente (Figura 1.9b). A janela simples apresentou maior percentual de iluminação, no entanto, foi confirmada a eficácia do modelo com prateleira de luz no ponto C, mais distante da abertura, quanto à uniformidade na distribuição da luz.

A Figura 1.10 ilustra os resultados para análise de três componentes 1, 2 e 3 (componentes celeste, interna e refletida). O efeito da prateleira de luz no componente celeste (1) depende apenas *das* dimensões do dispositivo, diferente dos demais componentes que são influenciados pelas características das superfícies. A uniformização da iluminação interna amplia-se à medida que se eleva a refletividade do solo e do teto.

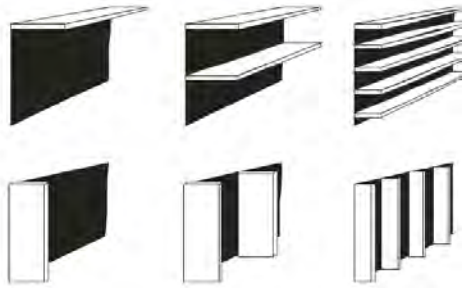
Figura 1.10 - Contribuição percentual de cada um dos componentes para janela simples e com prateleira de luz.



FONTE – Cabus (2005).

Estudo semelhante foi realizado por Cruz e Silva (2011) ao investigar o impacto dos dispositivos de proteção solar nas edificações de escritório em três zonas bioclimáticas brasileiras distintas: Brasília, Florianópolis e Maceió. Modelos de escritórios foram simulados partindo de características de refletância interna semelhantes, das quatro orientações, de três percentuais de área de fachada (PAF de 25%, 50% e 75%) com diferentes condições de proteção, como ilustra a Figura 1.11.

Figura 1.11 - Esquemas de proteção solar utilizados na pesquisa.



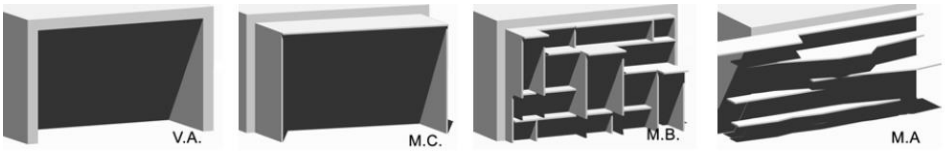
FONTE – Cruz e Silva (2011).

Desta forma, foi afirmado que somente a orientação Norte obteve resposta positiva em relação ao uso de três tipos de protetores e que a Oeste obteve a pior reposta na autonomia da luz, mesmo fazendo uso destas estratégias. Quanto à forma dos dispositivos, para a cidade de Maceió, cuja latitude é inferior às demais capitais, os dispostos na horizontal não provocaram perdas significativas de luz natural.

Esta investigação examinou ainda que a situação de fachada com PAF de 25% gerava diminuição na autonomia da luz, se comparado com as outras aberturas. Com relação à análise da geometria dos protetores, não ocorreu diferença no comportamento da luz para brises únicos e duplos. Em contrapartida, apenas para a categoria dos filetados, quando aplicado em Brasília e Florianópolis, percebeu-se uma significativa perda na quantidade da luz.

Palhinha (2009) propõe um método que resulta na relação entre otimização do sombreamento e a qualidade de iluminação natural, a partir das características climáticas do local e de intenções arquitetônicas de projeto. Assim, o autor desenvolve quatro modelos para análise, adotando sempre a orientação Sul, variando de acordo com o dispositivo de sombreamento (Figura 1.12). Para o Modelo A (M.A) foram ainda empregadas variações no material, tais como: pintura branca, superfície de madeira, ripado de madeira e metálica, cujos coeficientes de reflexão foram calculados em 82.8, 39.9, 20 e 57.8%, respectivamente.

Figura 1.12 - Esquemas de proteção solar utilizados – Vão Aberto, Modelo Comum, Modelo Base e Modelo A.

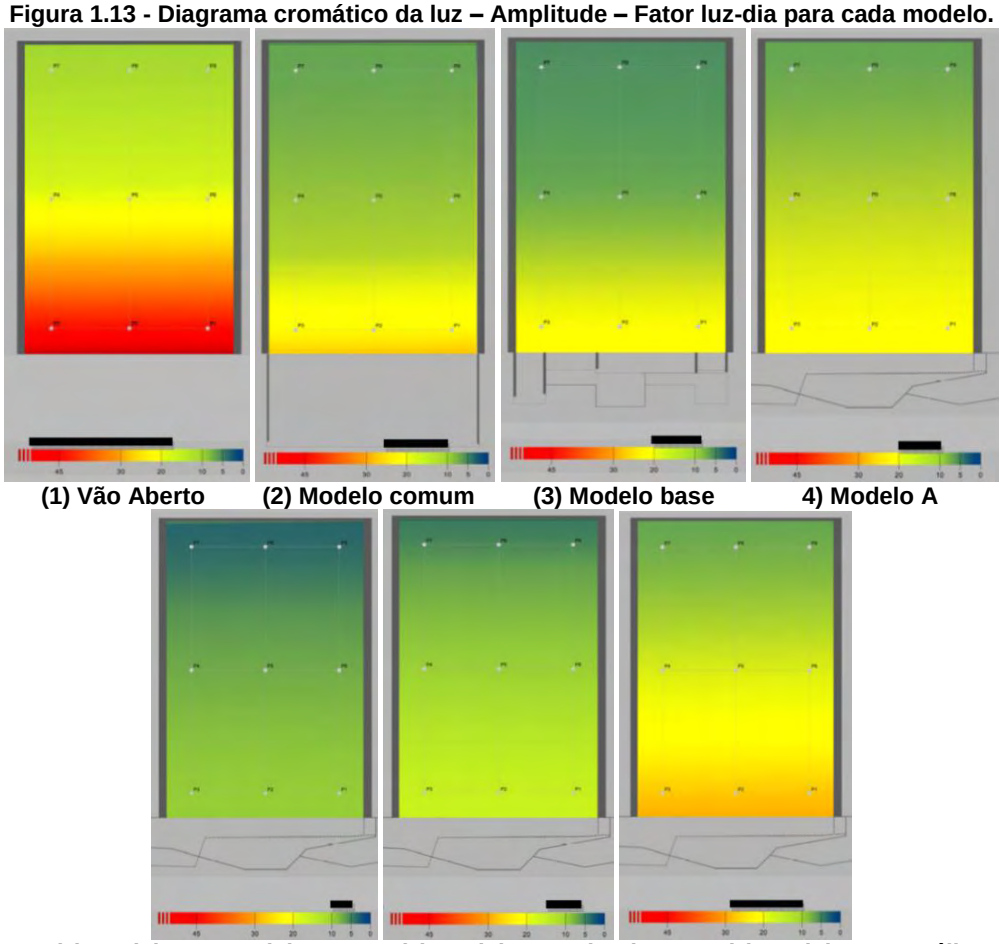


FONTE – Palhinha (2009).

De acordo com a grade padrão de medição estabelecida em 9 pontos, foram calculadas as amplitudes fator luz-dia para cada situação (Figura 1.13). Fica evidente que o vão aberto (VA) apresenta maior percentual nos pontos mais próximos da abertura, e à

medida que se afasta este fator reduz sua intensidade. Já com a inserção de dispositivos de proteção, a uniformização da luz é mais significativa e com fatores aproximados em 15, 13 e 16% para Modelo Comum, Modelo Base e Modelo A.

Figura 1.13 - Diagrama cromático da luz – Amplitude – Fator luz-dia para cada modelo.



(1) Vão Aberto **(2) Modelo comum** **(3) Modelo base** **4) Modelo A**

(5) Modelo A – Madeira **(6) Modelo A – Ripado** **(7) Modelo A - Metálico**

FONTE – Palhinha (2009).

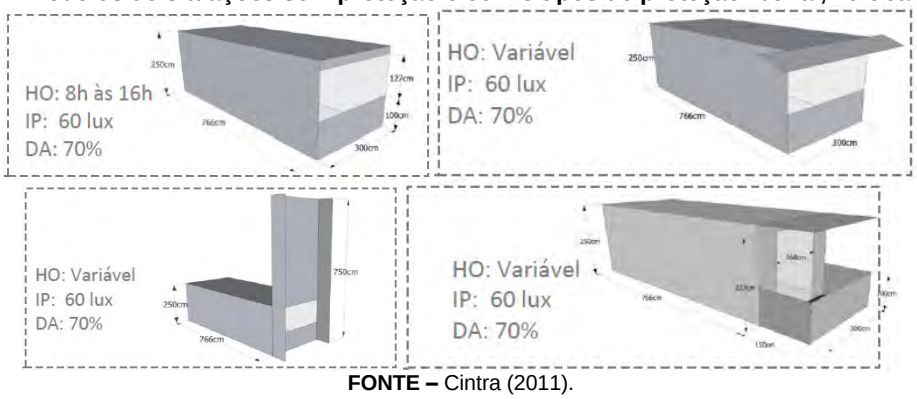
Quanto à diferenciação de material, para o Modelo A, que utilizaram os madeirados, contínuo e ripado, obtiveram resultados baixos de amplitude, em decorrência do coeficiente de reflexão baixo. Ao contrário destes, a eficiência do dispositivo foi maior com a mudança para o metálico. No que se refere à luminosidade, os que apresentam maiores refletâncias, estando também associados às superfícies internas, são os mais propícios a ocorrência de brilho intenso. O Modelo Comum, Modelo A e Modelo A com proteção metálica são os mais evidentes, merecendo destaque para o Modelo Comum devido a configuração do elemento de proteção.

Não apenas o sombreamento provocado pelos elementos de proteção gera alteração na distribuição de iluminação natural para os interiores. Carvalho (2010) analisa o uso de varandas em edifícios verticais multifamiliares e residenciais localizados no bairro de Ponta

Verde – Maceió, como estratégia de bloqueio dos raios solares e a entrada de luz. Em seu estudo, foi constatado que nem sempre com a adoção de varandas será obtido um bom resultado no desempenho luminoso dos ambientes internos. Deve-se, portanto, considerar a sua configuração seja confinado, de saque ou de canto, e os diferentes materiais de peitoril – vidro, alvenaria ou misto.

Cintra (2011) investiga a interferência das variáveis arquitetônicas no desempenho da luz natural, mais especificamente a profundidade dos ambientes e a presença de dispositivos de proteção solar. Por meio de simulação dinâmica, foram analisados 40 ambientes reais localizados em Florianópolis e Brasília, ficando constatado que para ambientes cuja área de abertura equivale a 1/6 da área do piso, sem proteção solar e com reflexões internas de teto com 84%, parede com 58% e piso com 30%, devem ter profundidade limite de 2,57 vezes a altura da janela (Figura 1.14).

Figura 1.14 - Modelos de situações sem proteção e com 3 tipos de proteção: beiral, vertical e varanda.



FONTE – Cintra (2011).

Sendo assim, a autora ratifica a presença de iluminação natural em 60 lux de iluminância em 70% das horas do ano e em 70% da área do ambiente. Já os que constam proteção solar, a profundidade iluminada reduz em 17,9% e seu limite chega a 2,11 vezes a altura da janela.

1.3. INDICADORES DE DESEMPENHO DA ILUMINAÇÃO NATURAL

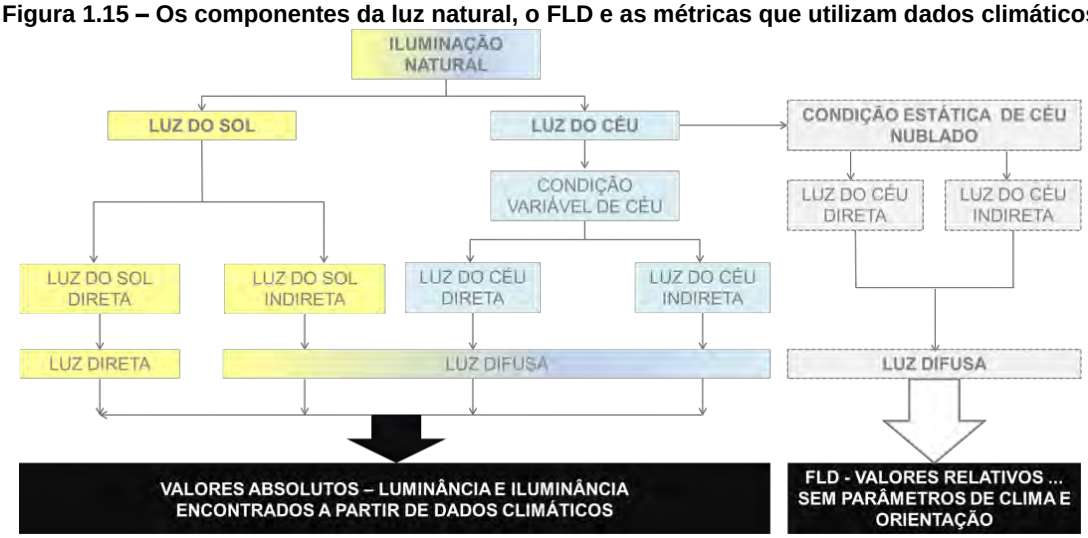
1.3.1. MÉTRICAS DINÂMICAS

Nos países de clima temperado, a medida mais utilizada para avaliar a iluminação natural era o Fator de Luz Diurna (FLD) ou *Daylight Factor*. Seu conceito consiste na relação

da iluminância interna de um ponto no interior do ambiente com a iluminância horizontal externa desobstruída. Por se tratar de uma métrica estática, a variação da disponibilidade luminosa ao longo do dia e do ano é desconsiderada e efetuam-se cálculos luminotécnicos, a partir de um céu de referência predominantemente nublado, seguindo recomendações do *Comission Internationale del'Eclaraige* (CIE).

A principal limitação no uso desta métrica é a impossibilidade de gerar dados relativos sem utilização de parâmetros climáticos e de orientação, adotando apenas a condição de luz difusa. Sob esta ótica, estudos recentes confirmam a insuficiência e inviabilidade dos resultados, tendo em vista que as variáveis relevantes para avaliação da iluminação natural são desconsideradas. Com aplicação as métricas dinâmicas, esta deficiência foi suprida levando em consideração os valores absolutos de luminância e iluminância, mediante condições de céu baseadas em arquivo climático anual. A Figura 1.15Figura descreve as diferenças entre as métricas, estática e dinâmica.

Figura 1.15 – Os componentes da luz natural, o FLD e as métricas que utilizam dados climáticos.



FONTE – Mardaljevic et al (2006).

Diante de tal discrepância com os valores reais, foram desenvolvidas novas formas de se avaliar a fonte natural através de métricas dinâmicas. Mardaljevic et al (2006) as descreve como meio de quantificar o desempenho da luz natural em seus valores absolutos de luminância e iluminância obtidos a partir de dados arquivos climáticos anuais.

Estudos com investigações realizadas por Mardaljevic (2000), Reinhart e Walkenhorst (2001), Reinhart e Andersen (2006), contribuíram para o uso das métricas, denominadas dinâmicas, nas avaliações de iluminação natural. Dentre essas, destacam-se duas: Autonomia da Luz Natural - ALN ou *Daylight autonomy* – DA (REINHART e WALKENHORST

2001), a Iluminância Natural Útil – INU ou *Useful daylight illuminances* – UDI para ambientes comerciais (NABIL E MARDALJEVIC, 2005) e a mesma métrica destinada à análise de ambientes residenciais (MARDALJEVIK *ET AL,* 2011).

O conceito Autonomia da Luz Natural – ALN é aplicado ao percentual em horas/ano em que o nível de iluminância mínimo exigido é mantido em um determinado ambiente. Utiliza-se a referência do plano de trabalho como indicador da existência da fonte suficiente de luz natural em um espaço, atendendo assim as necessidades visuais do usuário (REINHART E ROGERS, 2006).

Apesar das orientações das fachadas e as condições de céu ao longo do ano estarem incluídas na avaliação, tal índice não permite a identificação das situações onde os níveis são excessivamente elevados, podendo provocar efeitos adversos associados ao desconforto visual e à sobrecarga térmica. Com a finalidade de aperfeiçoar a medida dinâmica Autonomia da Luz Natural, Nabil e Mardaljevic (2005), propõe a métrica de Iluminância Útil da Luz Natural (INU), classificada em insuficientes, suficientes com necessidade de fonte complementar, suficientes e excessivos. Ao contrário da ALN, a INU visa determinar a frequência em que uma determinada faixa de iluminância, considerada aceitável, eficaz e útil, incide sobre o plano de trabalho. A Tabela 1.2Tabela apresenta a classificação e a faixa INU correspondente a ambientes residenciais.

Tabela 1.2 - Níveis de iluminação para ambientes residenciais.

CLASSIFICAÇÃO	Faixa de Iluminância Natural Útil (INU)
Excessivo (inapropriado)	INU ≥ 3000 lux
Autônomo	300≤ INU < 3000 lux
Suficiente, mas com necessidade de iluminação artificial.	100≤ INU < 300 lux
Insuficiente (inapropriado)	INU < 100 lux

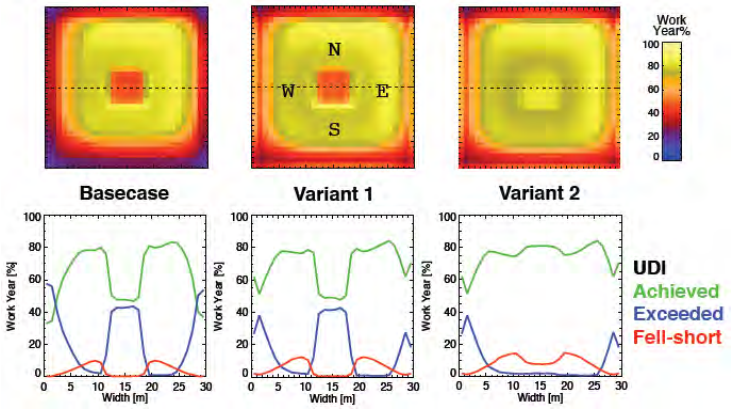
FONTE – Mardaljevik et al (2011).

Como aplicação da medida dinâmica, Nabil e Mardaljevic (2005) relacionam a métrica do INU com variações dimensionais em dispositivos de proteção solar do tipo marquise. Com o intuito de aperfeiçoar sua eficiência em relação ao sombreamento, os autores avaliam a faixa útil em três modelos: o base sem proteção nas aberturas lateral e zenital, o modelo 1 com proteção horizontal e o modelo 2 com todas as aberturas protegidas.

A adição dos elementos de proteção solar nas fachadas levou a uma redução no índice de Iluminância Natural Útil, principalmente nas áreas perimetrais, locais mais suscetíveis a maiores níveis de iluminação. Já com a inserção de um elemento de proteção na abertura zenital (*Variant* 2), percebe-se a uniformização da luz com a faixa útil aceitável próxima dos 80% durante todo o ano. Neste mesmo modelo, o índice mínimo e máximo é bastante

reduzido, o que ratifica a eficiência do sombreamento no desempenho da luz natural nos espaços internos (Figura 1.16).

Figura 1.16 - Escala de IULN (UDI) e Relação porcentagem de horas e largura da sala no sentido Leste-Oeste.

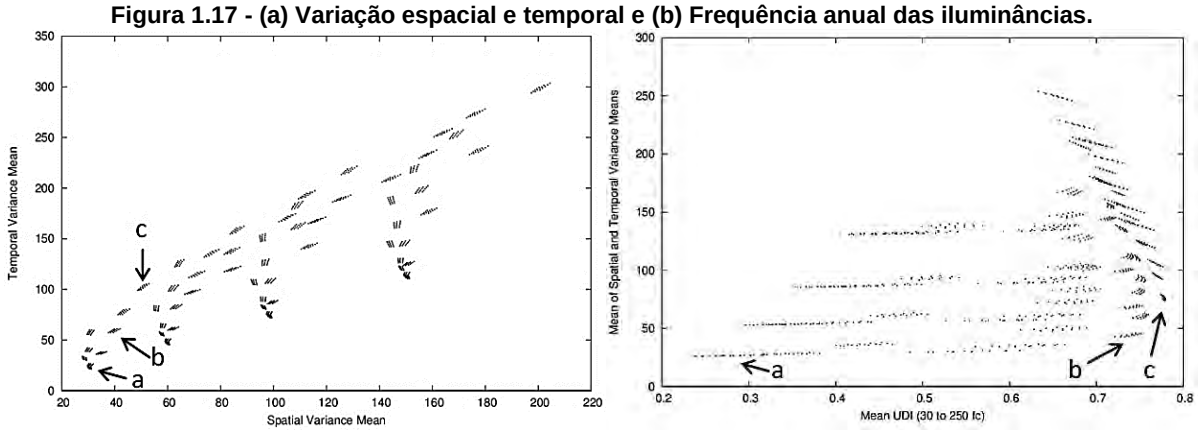


FONTE – Nabil e Mardaljevik (2005).

Diaz (2011) avalia o desempenho de sistemas de fachada na admissão e distribuição interna da luz natural seguindo critérios de orientação, o tamanho da janela e o tipo de dispositivo de sombreamento. Diante da impossibilidade de analisar a uniformidade da iluminação natural através dos valores do UDI, optou-se por calcular a média e o desvio padrão das percentagens do tempo em que o nível luminoso permanece na faixa útil, a fim de conhecer o grau de dispersão dos dados. Com isso, o autor chega a uma relação de quanto menor o valor do desvio padrão mais uniforme a distribuição luminosa.

Futrell e Brentrup (2012) propuseram um novo método de avaliação da luz natural denominado *Daylighting Scorecad*, que determina a variação temporal (VT) e espacial (VE) dos níveis de iluminância anual (Figura 1.17a), complementando assim os resultados das métricas dinâmicas de INU e ALN (Figura 1.17b). De acordo com os autores, quanto menor a relação entre as variações, maior o grau de uniformidade do ambiente.

Figura 1.17 - (a) Variação espacial e temporal e (b) Frequência anual das iluminâncias.



FONTE – Futrell e Brentrup (2012).

A vantagem principal do método é possibilidade de verificação o desempenho da luz em uma quantidade significativa de modelos. Em complemento a VE e VT, os autores propõem a indicação da frequência útil anual da luz natural, associando a média das variações com o INU na faixa autônoma (300 a 3000lux). Especificamente a INU de cada sensor é calculada e gerada o valor médio – *Mean UDI value* (MUDI) e relacionado com o valor médio das variações. A Figura 1.17 ilustra o comportamento da uniformidade e frequência anual entre 960 simulações, com destaque para os modelos A, B e C.

1.3.2. OFUSCAMENTO

O ofuscamento é uma medida de desconforto físico causado por fontes de luz ou contrastes excessivos em um campo visual específico (JAKUBIEC e REINHART, 2010). Em geral, fontes naturais, a exemplo das janelas, são as maiores causadoras deste fenômeno, por apresentar contrastes com variabilidades intensas.

O brilho em demasia gerado por janelas se torna mais críticos ao comparar com os ocasionados por aberturas zenitais (KIM, 2008). Ao contrário das fontes artificiais, que são geralmente projetadas nos forros, as aberturas no teto ocupam grande porção do campo visual (BOUBEKRI e BOYER, 1992).

A redução da área da janela não é necessariamente a solução para o problema do ofuscamento. À medida que ocorre o aumento do contraste entre a janela e a parede, o brilho se torna mais intenso no campo visual do usuário (XING, 2008). É possível, no entanto, adotar técnicas que permitam a diminuição da visão da luminância na faixa de céu, sem essencialmente reduzir a área da abertura.

As variáveis determinantes do ofuscamento podem ser dividas em: o tamanho da abertura, as características da visão externa, o grau de reflexão especular das superfícies internas e do entorno. O brilho proveniente do sol e do céu visto através das janelas pode resultar em três níveis de ofuscamento: desabilitador - *Disability glare,* Superficial - *Veiling Glare* e o desconfortável - *Discomfort Glare.* Tal efeito causa desde cintilação atrativa e desejável, passando pelo perturbador, até o ponto de se tornar desabilitador, impedindo a visão (BOUBEKRI e BOYER, 1992).

O ofuscamento superficial é ocasionado por meio de reflexões especulares em superfícies brilhantes, como plásticos, telas de monitores. Já o desabilitador provém de fontes diretas de luz, cuja ação é imediata, reduzindo a visibilidade e o desempenho visual.

Muitos estudos avaliam as causas do ofuscamento desconfortável e determinam meios de evitá-lo. Diferente do desabilitador, seu efeito não chega a ser instantâneo, não afetando a capacidade do usuário em executar uma tarefa. No entanto, sua presença é pode ser associada à diferentes níveis de desconforto físico e visual, afetando a tarefa, principalmente em situações de longa exposição.

A diferença entre os dois tipos pode ser explicada através da teoria alemã que denomina o efeito fisiológico como o desabilitador e o psicológico como o desconfortável (OSTERHAUS, 2005). Quando o último ocorre, os ocupantes podem não perceber, mas os sintomas tardios como dor de cabeça e fadiga visual serão atribuídos a este efeito (Figura 1.18).

Figura 1.18 - Exemplos de fontes de ofuscamento desabilitador e desconfortável.

FONTE: Mead (2011).

A determinação deste fenômeno essencialmente particular exige investigações acuradas dos aspectos subjetivos, sendo imprescindível a utilização destes parâmetros associados aos aspectos objetivos e quantificáveis. Sob a ótica do autor, um estudo subsidiado apenas por métodos quantitativos não reconhece as respostas fisiológicas e psicológicas dos usuários dos ambientes (OSTERHAUS, 2005).

Dentre a trajetória de pesquisas que envolvem ofuscamento, Luckiesh e Holladay (1925) foram os primeiros a aplicar a avaliação psicológica, investigando escala de conforto e graus de sensação. Os estudos iniciaram com o desenvolvimento da Probabilidade de Conforto Visual, VCP – *Visual Comfort Probability* –, conduzido por Luckiesh e Guth em 1949 (EBLE-HANKINS, 2008).

O *British Glare Index* é definido como fórmula base, cujas variáveis são: luminância de cada fonte no campo de visão, o ângulo sólido da fonte para os olhos (tamanho aparente), a média das luminâncias do cenário e o ângulo entre a direção da luz e a direção de visão do observador (HOPKINSON, 1972).

Einhorn em 1969 sucedeu investigando o Índice de Ofuscamento da CIE[5], CGI – *CIE Glare Index*, publicado pela BRE[6]. Tanto o CIE como a VCP, sistema adotado pela IESNA, são restritos a predição em fontes artificiais. Limitadas a cálculos em pequenas fontes de luz, os índices antecedentes invalidavam a utilização dos métodos para qualquer tipo de fonte e ainda assim não se estimavam aos efeitos de adaptação ao olho humano. Nazzal (2004) destaca tais estudos como não aplicáveis às situações de luz do dia, já que as aberturas excediam o valor de referência para o ângulo sólido, cuja limitação era 0,01 esferorradiano (sr)[7].

Em análises posteriores realizadas pela *Cornell University*, Hopkinson e Chauvel investigaram o ofuscamento em grandes fontes, utilizando não apenas em predições para sistemas artificiais, mas também para naturais, conhecida como a "fórmula de *Cornell*" (Equação 1). Estudos de validação desta fórmula envolvendo medição física para as duas condições de iluminação mostraram que a correlação entre o brilho observado das janelas e o brilho previsto não era tão forte como ocorre em sistema da iluminação artificial. Contudo, foi constatado que o ofuscamento ocasionado por fontes naturais são mais toleráveis que por fontes artificiais (BOUBEKRIT e BOYER, 1992).

$$\mathbf{Glare = 0,478 \sum \frac{Ls^{1.6}\Omega^{0.8}}{L_b+(0,07\omega^{0.5}L_s)}}$$ (Equação 0.1),

sendo:

L_s – Luminância da fonte de ofuscamento $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;

Ω – Ângulo sólido da fonte, modificado para considerar a posição no campo de visão (sr);

L_b – Luminância média do campo de visão (excluindo a fonte) $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;

ω – Ângulo sólido subentendido pela fonte (sr);

A primeira métrica destinada a fontes naturais, o Índice de Ofuscamento da Luz Natural, (*Daylight Glare Index – DGI)* (Equação 2) se classifica em duas escalas de desconforto: o intolerável – DGI>31 – e o quase imperceptível – DGI<18 (JAKUBIEC E REINHART, 2011).

$$\mathbf{DGI = 10 \times \log_{10} 0,48 \sum_{i=1}^{n} \frac{L_s^{1.6}\Omega^{0.8}}{L_b+\left(0,07\omega^{0,5}L_w\right)}}$$ (Equação 0.2),

sendo:

L_s – Luminância da fonte de ofuscamento $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;

Ω – Ângulo sólido da fonte, modificado para considerar a posição no campo de visão (sr);

L_b – Luminância média do campo de visão (excluindo a fonte) $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;

[5] *Commission Internationale de l'Eclairage* - Em 1995, o CIE separou as fontes diretas e difusas e definiu o UGR – Unified Glare Rating, sendo este uma simplificação do CGI (JAKUBIEC E REINHART, 2011).

[6] Building Research Establishment Ltd. England

[7] Esferorradiano ou esterradiano (símbolo "sr") é uma unidade de medida suplementar e padrão no Sistema Internacional de Unidades, utilizada para quantificar ângulos sólidos.

ω – Ângulo sólido subentendido pela fonte (sr);
L_w – Luminância da janela $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$.

Com base nos estudos realizados por Hopkinson e Chauvel, um novo método de avaliação do DGI é proposto, conhecido como o DGIn – *New Daylighting Glare Index* (Equação 3), cujos parâmetros são luminância externa, ângulo sólido da fonte (janela) e ângulo sólido aparente no campo de visão do observador, respectivamente, incluindo critérios anteriormente não estudados, como a luminância da janela e a luminância de adaptação (NAZZAL, 2004).

$$\boldsymbol{DGIn = 8\log_{10}\left\{0,25\left\{\frac{[\sum(L_{ext}^2\Omega_{pN})]}{[L_{adaptation}+0,07(\sum(L_{window}^2\omega_N)^{\,0,5})]}\right\}\right\}}$$ (Equação 0.3),

sendo:
L_{ext} – Luminância externa causada pela luz direta do sol, difusa do céu e refletida das superfície $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;
Ω – Ângulo sólido da fonte, modificado para considerar a posição no campo de visão (sr);
$L_{adaptation}$ – Luminância média do campo de visão incluído reflexões das superfícies internas $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;
L_{window} – Luminância da janela $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;
ω – Ângulo sólido subentendido pela fonte (sr);

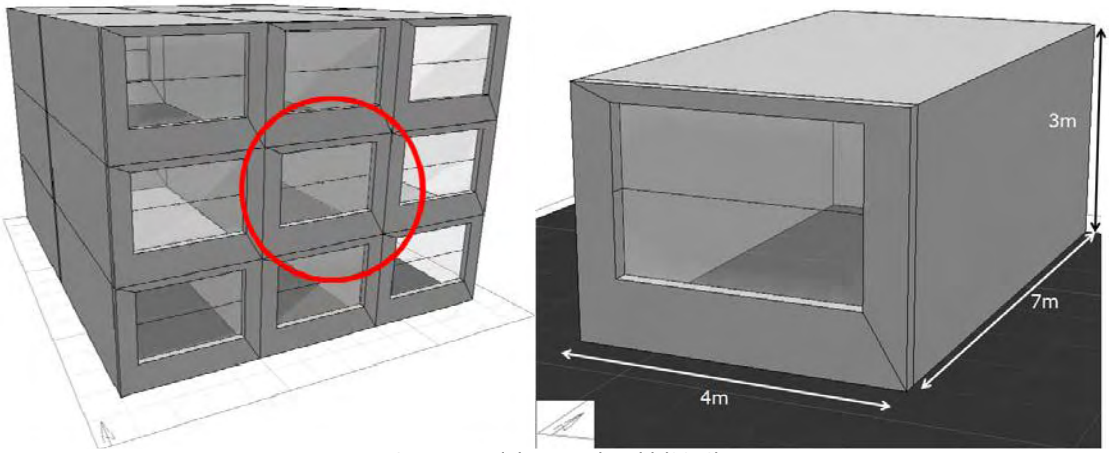
Wienold e Christofferson (2006) desenvolveram um método baseado na probabilidade de ofuscamento derivado de avaliações subjetivas em espaços coorporativos iluminados naturalmente. A métrica da Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural – POLN – ou *Daylight Glare Probability* – DGP (Equação 4) aborda a maioria dos fatores que contribuem para o desconforto visual. Diferente das demais, o DGP adota um novo parâmetro e inclui em sua métrica o valor da iluminância do plano vertical no campo de visão. Similar ao VCP, sua escala é intuitiva, alcançando faixas maiores que 0,45, estimando um percentual de 45% de pessoas em condições intoleráveis de ofuscamento, e valores abaixo de 0,3 – 30%, imperceptível (JAKUBIEC E REINHART, 2011).

$$\mathrm{DGP} = 5{,}87\mathrm{x}10^{-5}\mathbf{E_v} + 9{,}18\mathrm{x}10^{-5}\log_{10}\left(1+\sum_{i=1}^{n}\frac{L_{si}^2\omega_{si}}{L_b+(E_v^{0,1,875}P_i^2)}\right)$$ (Equação 0.4)

sendo:
E_v – Iluminância vertical no nível do olho (lux);
L_s – Luminância da fonte $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;
ω_s – Ângulo sólido da fonte $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;
L_b – Luminância média do campo de visão (excluindo a fonte) $\left({}^{cd}/_{m^2}\right)$;
P – Índice da posição (Guth).

A aplicação da métrica dinâmica para análise de desempenho lumínico deve ser integrada à avaliação de conforto visual e energético (REINHART e WIENOLD, 2010). A Figura 1.19Figura destaca o modelo empregado em uma simulação, tendo o dispositivo de proteção como variável independente, neste caso, com e sem venezianas de controle manual. Dentre as métricas avaliadas, a Iluminância Natural Útil foi explorada em três faixas de classificação (100lux, de 100 a 2000lux e acima de 2000lux) em conjunto com a Autonomia da Luz Natural, tendo 500lux como nível de iluminação adequado para a atividade a se desempenhar neste espaço.

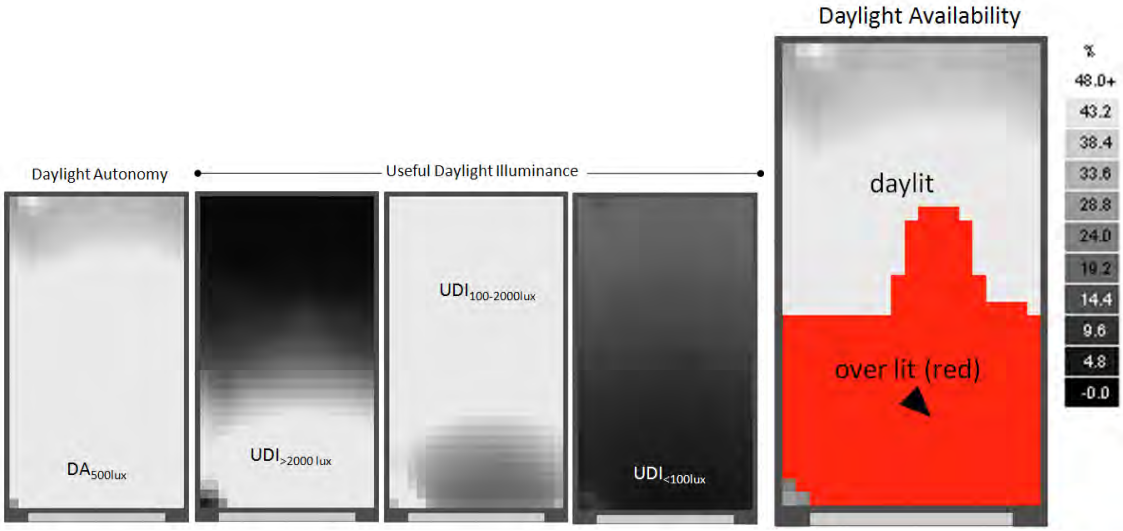
Figura 1.19 - Modelo de ambiente interno para simulação.



FONTE – Reinhart e Wienold (2010).

Através do cruzamento entre os dados da Iluminância Natural Útil (INU) e Autonomia da Luz Natural (ALN) (Figura 1.20), pode-se identificar a porcentagem de luz natural presente ao longo do ano em zonas denominadas iluminadas (*daylit*) e muito iluminadas (*over daylit*).

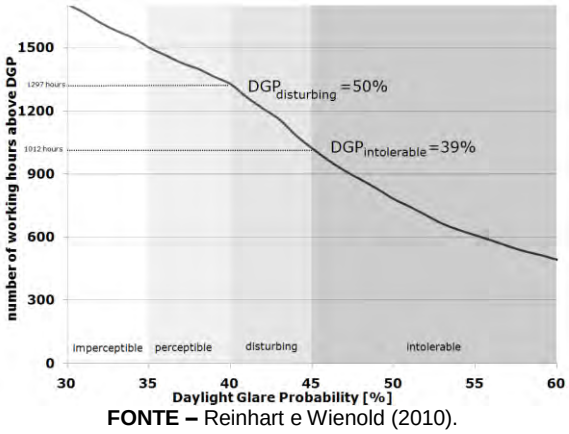
Figura 1.20 - Avaliação da luz natural através de INU e ALN.



FONTE – Reinhart e Wienold (2010).

Para o mesmo ambiente, a Figura 1.21 mostra a distribuição anual da Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural (POLN – DGP), assumindo o período de atividades das 8AM às 5PM. Pelo gráfico, em aproximadamente 50% do ano se atinge uma margem entre 100 e 2000 lux, e 39% do índice de ofuscamento se configura como intolerável à condição de conforto visual.

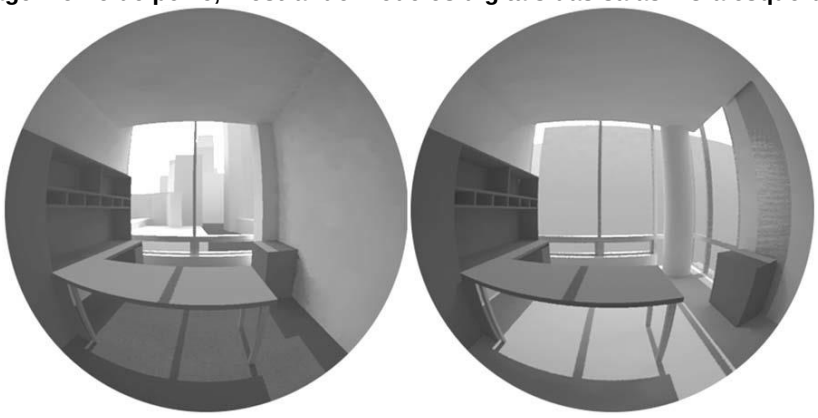
Figura 1.21 - Relação entre DGP e o número de horas cima do DGP.



FONTE – Reinhart e Wienold (2010).

Cantin e Dubois (2011) apresentam um método de avaliação das métricas de iluminação natural, seguindo os parâmetros determinados pela *European Standard EN* 12464-1. A proposta explora parâmetros quanto à distribuição da iluminância, o ofuscamento e a direcionalidade. Seu objeto de estudo compreendeu dois edifícios coorporativos da CDP em Montreal com orientações Noroeste (NO) e Sudoeste (SO). Além da orientação, a visão do exterior e características internas apresentavam particularidades. O ambiente SO está disposto na extremidade do edifício, contendo duas aberturas, sendo estas totalmente obstruídas, enquanto o NO é desobstruída e se posiciona nas salas mais centrais (Figura 1.22).

Figura 1.22 - Imagem olho de peixe, mostrando modelos digitais das salas NO a esquerda e SO a direita.

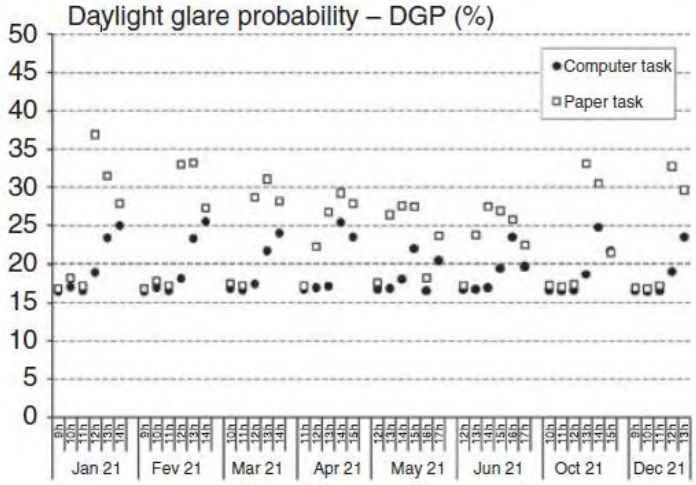


FONTE – Cantin e Dubois (2011).

Para tanto, os espaços foram analisados com destaque para duas áreas específicas, a que compreende o monitor e a superfície da mesa com papel branco. As métricas aplicadas compreenderam o Fator de Luz Diurna (FLD), as faixas de iluminância útil (INU) e a probabilidade de ofuscamento (POLN).

Em ambas as orientações, o FLD na superfície da mesa foi configurado com maior valor, merecendo destaque o edifício NO, que, por apresentar maior área de fenestração, ainda obteve maiores reflexões externas geradas pela fachada vizinha. Apesar disso, os resultados indicaram que as salas são suficientemente iluminadas por fontes de luz natural. Quanto à medição do INU, foi comprovada a presença de iluminação excessiva resultando em faixas de ofuscamento acima da condição tolerável. Com isso, os autores destacam a necessidade de proteção nestas fachadas, em especial a que NO por receber reflexões do entorno. Em complemento a iluminância útil, a probabilidade de ofuscamento – POLN – da sala SO, ilustrada na Figura 1.23 aponta a maior ocorrência na superfície da mesa com 37%, uma vez que o monitor não recebe nenhuma porção direta do sol, alcançando assim valores abaixo de 20%, sendo o inverso para a situação NO. Esta diferença foi comprovada, diante do posicionamento do computador que passou a receber maior reflexão do céu, aumentando significativamente o risco de ofuscamento.

Figura 1.23 - DGP da fachada SO sob céu claro nas áreas do computador e na mesa.



FONTE – Cantin e Dubois (2011).

Jakubiec e Reinhart (2011) avaliaram o ofuscamento em três espaços iluminados naturalmente sob 144 condições de céu, a partir da análise comparativa de cinco índices. Utilizando procedimento de simulação computacional, geraram 120 imagens em formato *high dynamic range* (HDR) no *Radiance* e com o aplicativo *Evalglare* foram mensuradas métricas de probabilidade de ofuscamento. A Tabela 1.3 discrimina as faixas de predição de cada

índice analisadas nesta pesquisa. Os autores concluíram que os valores gerados pela VCP foram os de maior alcance, uma vez que a probabilidade é baseada em fontes artificiais. Já o DGI, UGR e CGI se correlacionaram, originando predições razoáveis comparadas a DGP. Sob condição de luz direta e a porção de céu visível na abertura, os valores de DGP são mais precisos que as demais métricas. Estas resultam em ocorrência nula para a maioria das direções, cujo campo de visão apresenta fontes de luminâncias e grandes ângulos sólidos.

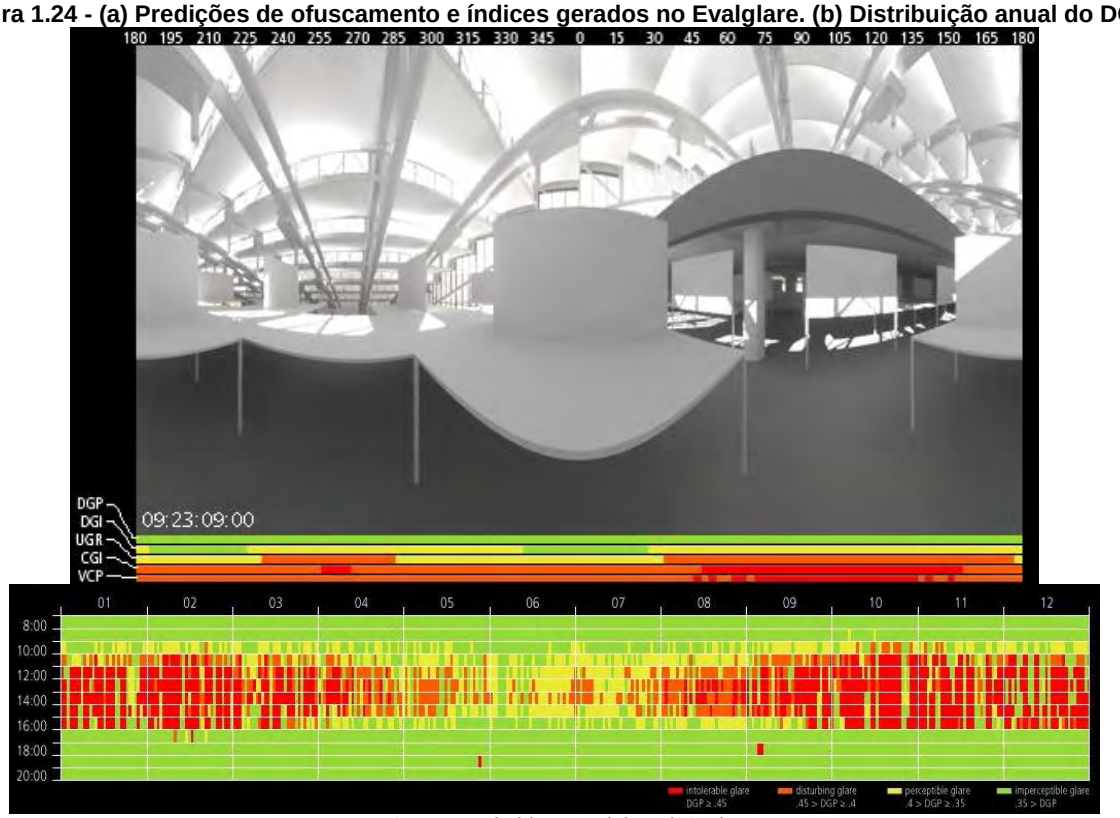
Tabela 1.3 - Faixas de predição de ofuscamento.

	Imperceptível	Perceptível	Desconfortável	Intolerável
DGI	< 18	18 - 24	24 – 31	> 31
UGR	< 13	13 - 22	22 – 28	> 28
CGI	< 13	13 - 22	22 – 28	> 28
VCP	80-100	60 - 80	40 – 60	< 40
DGP	< 0,35	0,35-0,40	0,40 - 0,45	≥0,45

FONTE – Jakubiec e Reinhart (2011).

Os autores ainda propõem um novo conceito, denominado Zona Adaptativa – *Adaptative Zone* – em que os ocupantes podem modificar a posição ou a direção do campo de visão a fim de adaptar o ambiente a uma condição mais confortável. A Figura 1.24a e b ilustram um dos resultados deste experimento relacionando os índices, os raios de visão e sua faixa de desconforto ao longo do dia e do ano.

Figura 1.24 - (a) Predições de ofuscamento e índices gerados no Evalglare. (b) Distribuição anual do DGP.



FONTE – Jakubiec e Reinhart (2011).

2. Capítulo

2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar e descrever os instrumentos e os procedimentos utilizados para a coleta e análise dos dados, com base no referencial teórico apresentado no Capítulo 1 e nas questões de pesquisa que norteiam este trabalho. Trata-se da metodologia adotada para identificar o desempenho da luz natural e a influência do entorno nos níveis de desconforto visual nos ambientes internos localizado no bairro de Manaíra, João Pessoa/PB. O procedimento foi dividido em 4 etapas: (1) **construção do objeto de análise**, (2) **caracterização dos modelos**, (3) **configuração dos modelos – Simulação** e (4) **métodos de avaliação do desempenho da luz natural.**

2.1. CONSTRUÇÃO DO OBJETO DE ANÁLISE – ETAPA I

A primeira etapa correspondeu à construção do objeto de análise. Para tanto, foi necessária, inicialmente, a escolha do recorte urbano. Na sequência, foram realizados os levantamentos das características construtivas das edificações do bairro, bem como o cálculo do coeficiente de reflexão médio das fachadas.

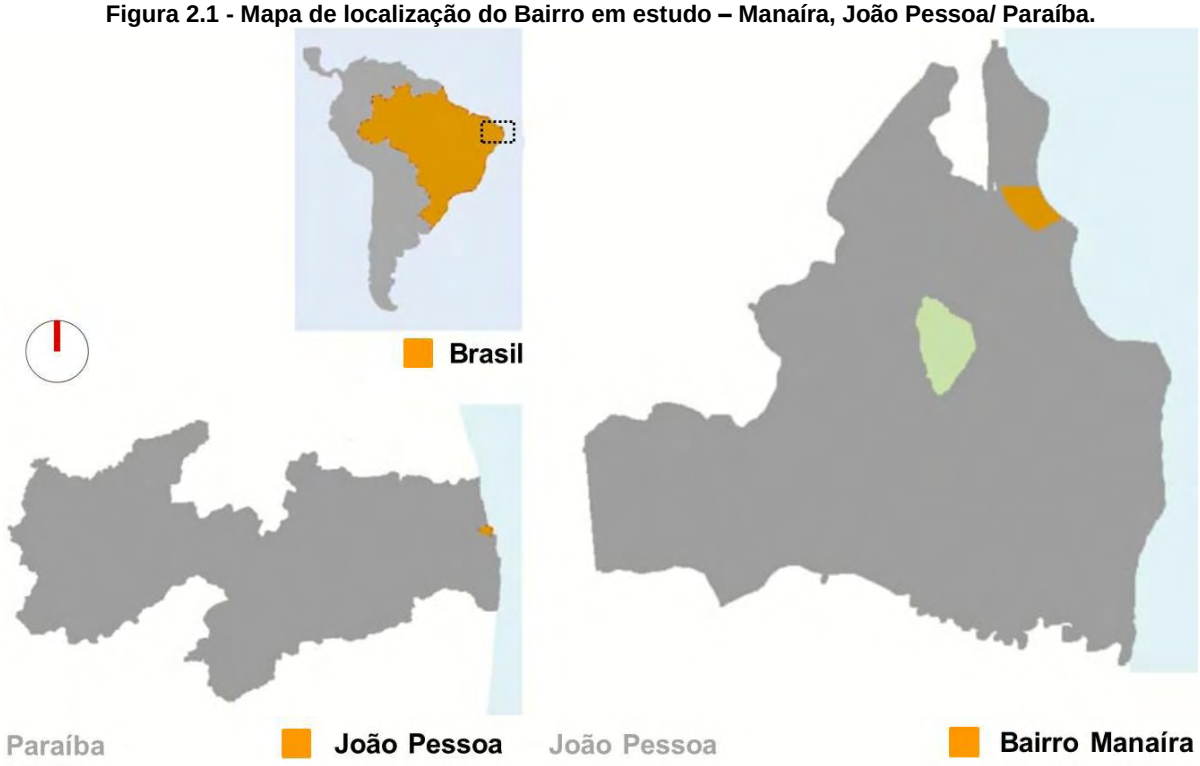
2.1.1. ESCOLHA DO RECORTE

O universo da pesquisa foi delimitado por recorte urbano situado no bairro de Manaíra, área litorânea da cidade de João Pessoa/PB (Figura 2.1), cujas coordenadas correspondem a 7º 6’ de Latitude Sul e 34º 50’ de Longitude Oeste. A escolha do bairro se deu em função de seu caráter adensado, marcado como uma das localidades mais verticalizadas do município.

Segundo o Plano Diretor da cidade, Manaíra está inserido no perímetro urbano, delimitado pela Zona Adensável Prioritária (ZAP). Quanto ao uso e ocupação, o bairro apresenta divisões em zonas: ZR1 – Zona Residencial 1 e ZA3 – Zona Axial 3, contempladas por características topográficas planas com quadras dispostas em malha ortogonal e

edificações, em sua maioria, multipavimentos. Em particular para tais zonas, o Decreto nº5900/2007 define o índice de aproveitamento máximo de 4,0 como ocupação do solo nos lotes.

Figura 2.1 - Mapa de localização do Bairro em estudo – Manaíra, João Pessoa/ Paraíba.



FONTE – Elaborado pela autora.

Após definição do bairro, partiu-se para a escolha do recorte urbano, com finalidade de se obter maior fidelização dos resultados à realidade do bairro. Para tanto, optou-se por quadras centrais localizadas próximas da porção litorânea. Contendo 9 (nove) quadras de dimensões distintas e irregulares, o recorte delimita as Avenidas Monteiro da Franca, Euzely Fabrício de Souza, Jacinto Dantas e Umbuzeiro, com uma área de aproximadamente 128.000 m², comprimento de 235 metros e largura de 545 metros.

A Figura 2.2 ilustra a superposição da planta cadastral cedida pela PMJP com a imagem aérea (*googlemaps*). Dentre os lotes do recorte escolhido para a pesquisa, se destacam em amarelo os edifícios de caráter residencial multifamilar com mais de 5 pavimentos e as demais áreas até dois pavimentos, cujas dimensões são de aproximadamente 12,00 x 30,00 nos posicionados nas áreas centrais da quadra e 15,00 x 30,00 nos de esquina.

Figura 2.2 - Planta de localização - destaque para o recorte.

FONTE – PMJP e *googlemaps*, adaptado pela autora.

2.1.2. LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

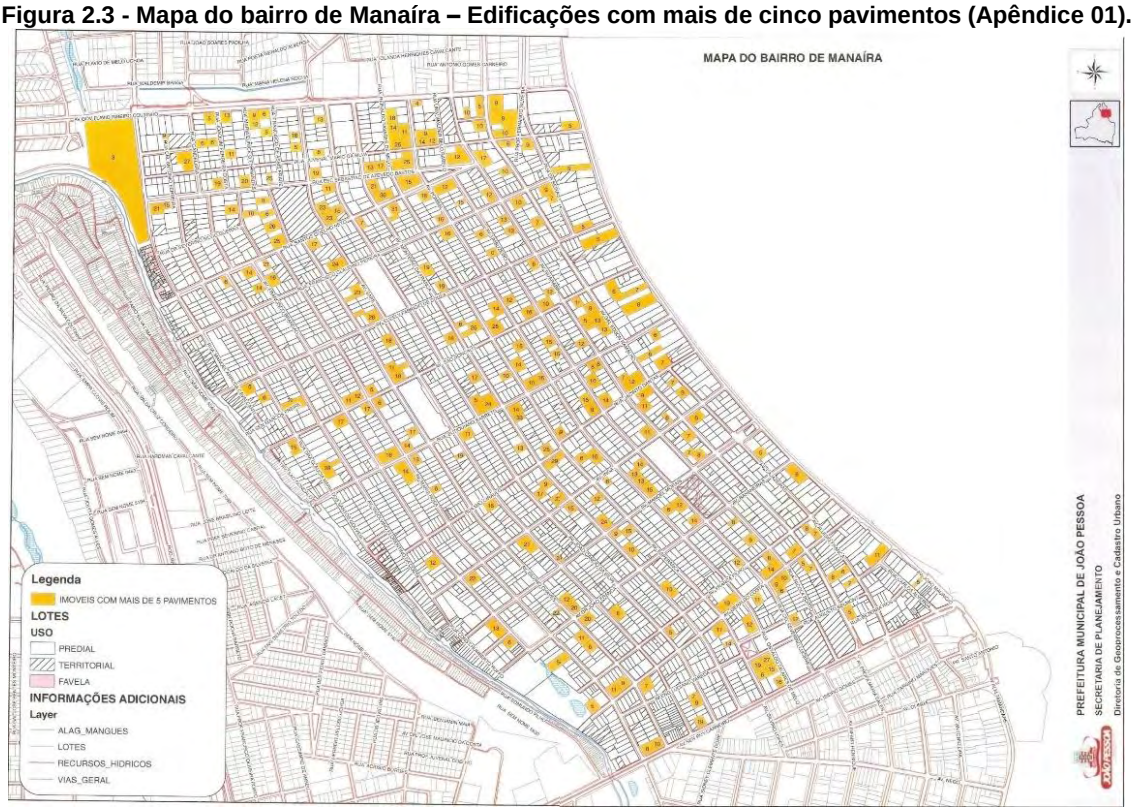
A primeira etapa destinou-se a caracterização da tipologia padrão, com o levantamento das edificações presentes no recorte urbano (Figura 2.3). Subsidiado pela pesquisa de Martins (2013) foi efetuado o cálculo dos percentuais de janela na fachada (PAF%) e do quantitativo das aberturas predominante em cada orientação, a fim de se averiguar a frequência de ocorrência das suas dimensões.

A coleta de dados consistiu na obtenção do número de edifícios situados no bairro. Foram consideradas edificações com cinco ou mais pavimentos. Os parâmetros construtivos dos edifícios foram obtidos através de levantamento *in loco*, registro fotográfico e com auxílio do projeto legal, obtido com a Prefeitura Municipal de João Pessoa.

Em complemento, a partir de informações obtidas com a Secretaria de Planejamento foi possível realizar a distinção do uso e identificar a quantidade de edifícios residenciais multipavimentos. O mapa da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**2.3 (ampliada no

Apêndice 01)) destaca os edifícios com uso predominantemente residencial, totalizando 230 imóveis.

Figura 2.3 - Mapa do bairro de Manaíra – Edificações com mais de cinco pavimentos (Apêndice 01).

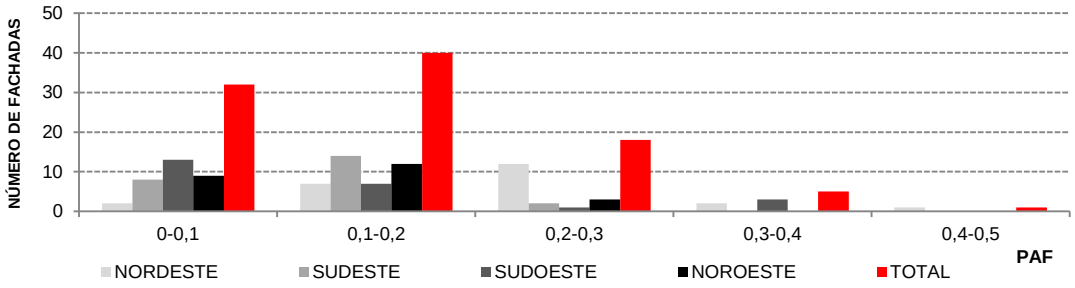


FONTE – Prefeitura Municipal de João Pessoa - PMJP (2012).

Em relação às particularidades construtivas, foi priorizada a classificação quanto à forma, dimensões das aberturas e quantidade de aberturas presentes em cada orientação. Baseado no método aplicado por Santana (2006), a descrição das aberturas foi feita utilizando a frequência de ocorrência das dimensões (altura e largura), do percentual de área de abertura na fachada (PAF%), identificação de uso de elementos de proteção solar e números de pavimentos por unidade.

Como estes valores costumam ser diferenciados para cada fachada, tomou-se como base o percentual por orientação. Os dados foram levantados por faixas de percentagem, de 0 a 10%, de 10% a 20%, 20% a 30% e assim sucessivamente (Figura 2.4). Na sequência, foram quantificadas todas as janelas compostas na amostra e determinada a frequência de ocorrência de largura, variando em faixas de 0 – 0,50m a 2,00 – 2,50m, e 0 – 0,50m a 4,50 – 5,00 para o comprimento. Com isso, foi-se averiguando o número de aberturas por fachada, bem como as dimensões por orientação. Esses quantitativos nortearam a construção dos modelos dos edifícios propostos nos cenários.

Figura 2.4 - Frequência de ocorrências de Percentual de Abertura na Fachada e dimensões de aberturas.



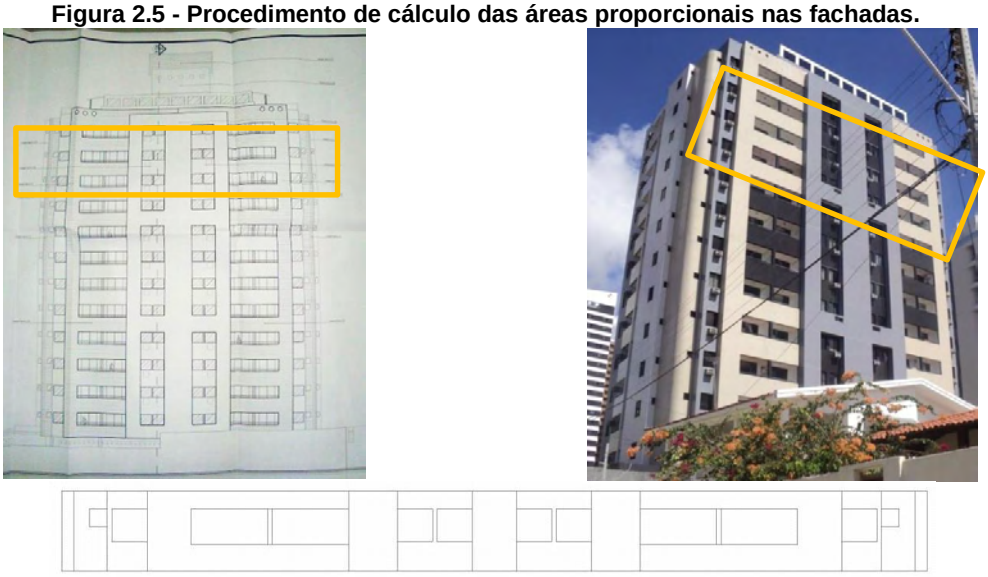
FONTE – Elaborado pela autora.

2.1.3. COEFICIENTE DE REFLEXÃO MÉDIO

Para determinação do coeficiente de reflexão médio das superfícies verticais localizadas no recorte urbano, foi aplicada proposta desenvolvida por Leder (2007). O método consiste no levantamento dos materiais e cores presentes nas fachadas e das dimensões dos fechamentos opacos e transparentes.

Com o auxílio de levantamento fotográfico e dos dados cadastrais, cada edifício foi digitalizado no programa AutoCAD 2012, seguindo dimensões reais do projeto legal. Após a digitalização, no mesmo programa, foram calculadas as áreas proporcionais relativas aos acabamentos superficiais predominantes no pavimento tipo. A Figura 2.5 exemplifica as etapas do levantamento inicial, onde constam a imagem do projeto da fachada, a fotografia e o resultado da digitalização.

Figura 2.5 - Procedimento de cálculo das áreas proporcionais nas fachadas.



Fonte – Elaborado pela autora.

Seguindo orientações da CIBSE, a leitura do coeficiente de reflexão das superfícies foi feita através da aproximação da cartela na superfície da fachada, observada por um orifício (Figura 2.6), selecionando de acordo com similaridade entre a amostra e o material a ser investigado. Para cada revestimento, foram extraídos os coeficientes de reflexão correspondentes, através da utilização da Guia de Iluminação II da *Chartered Institute of Building Services Engineers* (CIBSE, 2001) / *National Physical Laboratory*, que apresenta uma amostra de refletâncias específicas para cores em superfícies opacas. A cartela apresenta 40 amostras identificadas por letras de A a H e números de 1 a 6. Cada letra representa uma cor e a numeração varia em ordem decrescente de saturação.

Figura 2.6 - Cartela de cores e coeficiente de reflexão correspondente.

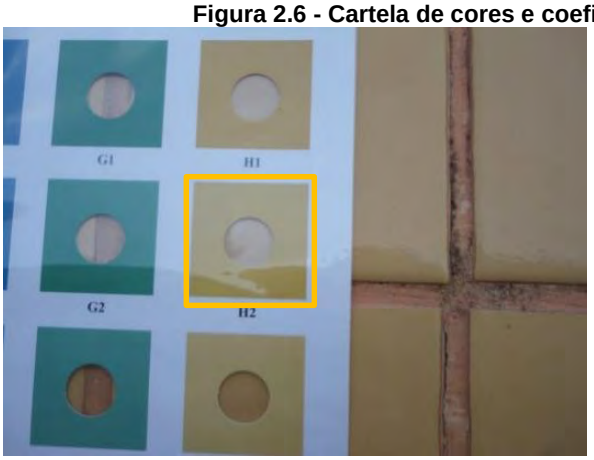


Table of surface reflectance values

	Light source	A grey	B brown	C ochre	D olive	E red	F blue	G green	H yellow
Row 1	Incandescent	10	14	25	18	25	15	13	39
	Fluorescent 840	10	13	25	18	23	16	15	38
	Daylight D65	10	13	23	17	19	17	16	36
Row 2	Incandescent	15	18	31	25	31	24	21	47
	Fluorescent 840	15	18	31	25	29	25	23	47
	Daylight D65	15	17	30	24	25	26	24	45
Row 3	Incandescent	24	27	40	33	40	35	34	56
	Fluorescent 840	24	27	39	33	38	35	35	56
	Daylight D65	24	26	38	33	35	37	36	54
Row 4	Incandescent	36	41	50	47	53	49	47	64
	Fluorescent 840	36	41	50	47	52	50	48	64
	Daylight D65	36	40	48	46	49	51	50	63
Row 5	Incandescent	55	58	64	61	65	63	62	73
	Fluorescent 840	54	58	64	61	64	63	62	73
	Daylight D65	55	58	63	61	63	64	64	72
Row 6	Incandescent	74	77	79	77	77	78	78	81
	Fluorescent 840	73	76	79	77	76	78	78	81
	Daylight D65	74	77	79	77	76	79	78	81

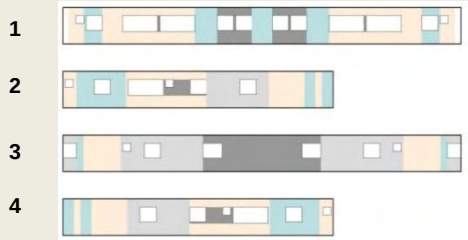
Fonte – CIBSE (2001).

A tabela diferencia os valores conforme o tipo de iluminação, fornecendo resultados para fontes artificiais – incandescentes e fluorescentes (840) – e fontes naturais (*Daylight* D65), sendo esta última, a fonte usada neste experimento. Nos casos de inexistência da cor, o procedimento recomendado é a escolha de duas ou mais amostras, a média aritméticas entre as mesmas é a refletância adotada.

Para facilitar o cálculo do coeficiente de reflexão médio de cada edifício, elaborou-se um modelo de tabela (Tabela 2.1), onde foram catalogados os dados coletados com identificação do edifício, o número para localização em mapa do recorte (Apêndice 02), imagem da fachada principal, croquis do pavimento tipo correspondente a cada fachada e área em percentagem de cada revestimento.

Tabela 2.1 - Modelo de tabela utilizada para cálculo do coeficiente de reflexão médio dos edifícios.

01: RESIDENCIAL PABLO NERUDA



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO				COEFICIENTE
		COR 1	COR 2	COR 3	COR 4	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE					
2	SUDESTE					
3	SUDOESTE					
4	NOROESTE					
COEFICIENTE DE REFLEXÃO						

O resultado do cálculo do coeficiente médio ocorreu por meio do produto entre área da superfície vertical e seu respectivo coeficiente. O somatório dos valores gerados resultou no coeficiente médio por fachada e seguiu com média aritmética dos coeficientes das fachadas para a determinação da reflexão média representativa para o bairro.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS

A segunda etapa consistiu na caracterização dos modelos com base nos dados coletados na fase precedente. Para a simulação, os modelos foram caracterizados de acordo com o entorno escolhido definido pela zona e setor/ quadras do recorte urbano do bairro. Estes, por sua vez, foram representados em duas categorias: Caso base e os Modelos hipotéticos.

O caso Base (Cenário Atual), denominado Modelo 1, representa a configuração atual do recorte urbano em análise, respeitando o gabarito das edificações, bem como a largura das vias. No centro do modelo foi inserido o edifício de análise, cuja representação serviu de parâmetro fixo para todas as simulações.

Os modelos hipotéticos foram divididos em: Isolado (Modelo 2), no qual a edificação encontra-se isolada - sem entorno, objetivando a caracterização do comportamento da iluminação natural sem a influência do entorno construído e Cenário de ocupação máxima (Modelo 3), que representa o limite máximo de ocupação (ocupação do solo e gabarito). Este

último, tendo sido construído a partir do parcelamento atual existente no recorte em estudo, com alguns remembramentos de lotes que permitem maior aproveitamento e por ser esta uma prática recorrente na área em estudo. A partir destes, foram determinadas as categorias de análise, restritas as características do entorno do Modelo 3, e as variáveis do edifício, comum em todos os modelos.

2.2.1. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO CENÁRIO – ENTORNO

Os edifícios de entorno foram definidos a partir das características da tipologia predominante do bairro de Manaíra. Os lotes passaram por um redimensionamento e, conforme a necessidade, remembrados quando insuficientes para locação de um edifício multipavimento ou desmembrados em situações de área excedente. Tendo como critério o levantamento no recorte em estudo, que possibilitou identificar a tipologia de lote dominante. Partindo destes pressupostos, determinaram-se as alturas e a área da lâmina dos edifícios com o cálculo do recuo progressivo. A partir das determinações quanto à ocupação e o parcelamento do solo no limite máximo permitido pela legislação, os gabaritos foram caracterizados em função da dimensão final do terreno.

Cada fachada recebeu um tratamento diferenciado quanto ao número de esquadrias, seguindo faixas de ocorrência das dimensões e percentual de abertura na fachada (PAF%) predominante em cada orientação.

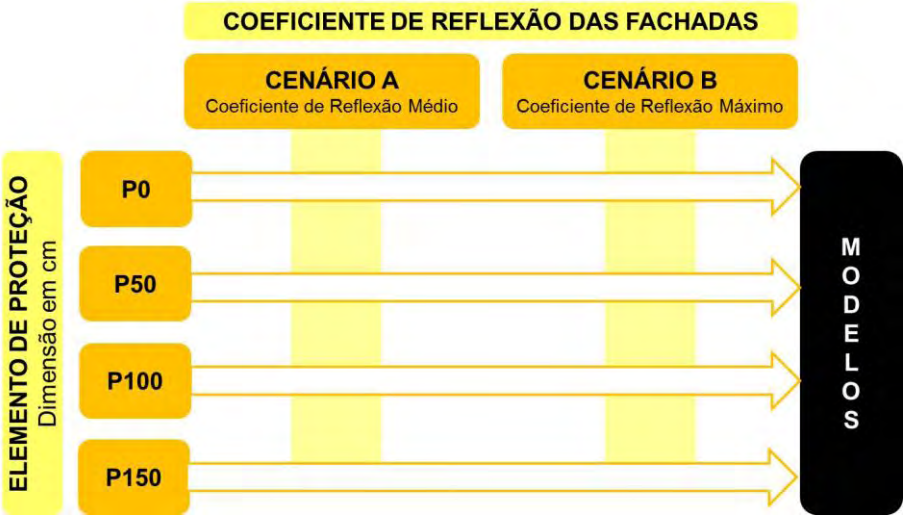
As variáveis dos cenários dividem-se em: o coeficiente de reflexão das superfícies externas, sendo o médio calculado e o máximo adotando 90%, e o tipo e dimensão do dispositivo de proteção solar (Categorias – sem proteção, 0,50m, 1,00m e 1,50m). Essas variações têm como objetivo analisar o impacto da componente refletida externa, bem como do sombreamento proveniente das proteções nas edificações do entorno, no comportamento da iluminação nos ambientes do edifício em análise. Destaca-se que os elementos de proteção foram inseridos somente nos edifícios do entorno, pois um dos objetivos deste trabalho é verificar a influência da presença de sombreamento nas edificações do entorno ocasionado pelas obstruções e dispositivos de proteção. O edifício, no qual a iluminação natural foi analisada, não possui elementos de proteção nas aberturas.

Como o Modelo Isolado não apresenta entorno e o Modelo Base configura a situação atual do bairro, as categorias de entorno ficaram restritas a investigação do Modelo de

Ocupação Máxima. Os primeiros parâmetros de análise foram indicados a partir da refletividade das superfícies verticais (fachadas), dividindo em: Cenário A, correspondente ao coeficiente médio calculado, descrito no item 3.1.2., e Cenário B com o coeficiente máximo, adotando o valor de 90%.

Além das reflexões do entorno, foram também propostas variações nas proteções, sendo estas horizontais do tipo marquise. Localizadas acima das aberturas, estes dispositivos seguiram toda a lâmina do edifício, presentes em todos os pavimentos. Além das fachadas sem proteção (P0), foram atribuídas mais três opções segundo a dimensão: 50cm (P50), 100cm (P100) e 150cm (P150). Estas alterações definiram sombreamentos distintos nos cenários, a fim de determinar sua influência nos ambientes internos. As variáveis de entorno foram esquematizadas na Figura 2.7.

Figura 2.7 - Quadro esquemático dos modelos.



FONTE – Elaborado pela autora.

2.2.2. DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO EDIFÍCIO DE ANÁLISE

A tipologia de análise foi definida por um edifício cuja representação serviu de parâmetro fixo para todos os modelos. Localizado na porção central do recorte urbano em estudo, sua configuração correspondeu à tipologia predominante no bairro adotando os limites máximos nos percentuais de abertura e no coeficiente de reflexão da fachada.

Considerando apenas três pavimentos para investigação, optou-se pelo andar Térreo, o Intermediário e a Cobertura. Cada orientação apresentou um ambiente interno situado na

porção central da lâmina, com intuito de se analisar o desempenho da luz natural em cada fachada separadamente. As Figura 2.8a e 28b esquematizam a disposição das aberturas por orientação e destaca os pavimentos escolhidos para a análise.

Figura 2.8 - (a) Tipologia de análise, destaque para os pavimentos estudados, (b) ambiente interno.

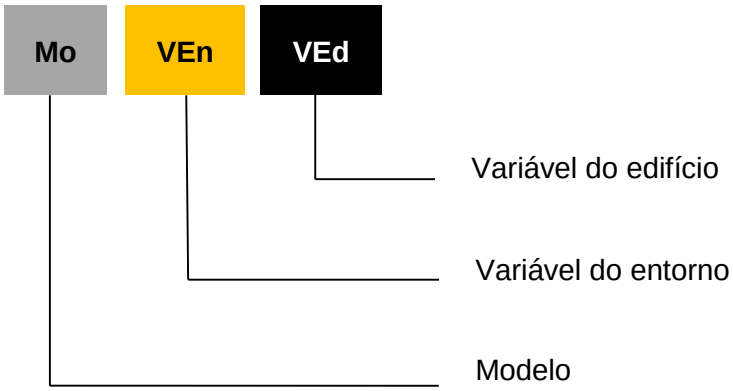
FONTE – Elaborado pela autora.

O edifício possui as seguintes orientações: Sudoeste (SO), Sudeste (SE), Noroeste (NO) e Nordeste (NE). Os ambientes em análise possuem uma janela disposta em toda a extensão da parede voltada para o exterior. Destaca-se que as aberturas dos ambientes em análise não possuem proteção solar, pois o objetivo deste trabalho é verificar somente a influência do sombreamento decorrente de proteções das fachadas do entorno e do coeficiente de reflexão no comportamento da luz natural nos espaços internos.

2.2.3. COMBINAÇÃO DOS MODELOS

Com o intuito de padronizar a forma de apresentação dos resultados obtidos nas análises, os ambientes receberam uma nomenclatura específica para cada modelo e suas respectivas variáveis, tomando como referência a estrutura apresentada na figura 2.9, abaixo. A nomenclatura inicia com o tipo de modelo sobre o qual a edificação está inserida com a denominação M1, M2 e M3, seguindo as categorias de cenário descritas no item 2.2.1. Em seguida é indicada a variável de entorno, quanto à refletância das fachadas adotadas, sendo A o coeficiente médio e B o máximo, e ao tipo de proteção abreviando com a letra P acompanhada da dimensão do elemento, sendo P0, P50, P100 e P150.

Figura 2.9 - Nomenclatura dos modelos de simulação.



FONTE – Elaborado pela autora.

Nos itens seguintes são descritas as variáveis dos ambientes do edifício, contemplando a orientação SO, SE, NO e NE, e o número do pavimento em que eles estão inseridos, sendo 1 –Térreo, 2 – Pavimento intermediário e 3 – Cobertura ou último pavimento. Na nomenclatura **M3 AP50 NO1**, por exemplo, se destacam o Modelo de Ocupação Máxima (**M3**) com reflexão média calculada nas fachadas do entorno (**A**), sombreamento pela proteção de 0,50m (**P50**), orientação Noroeste (**NO**) e pavimento Térreo (**1**).

2.3. CONFIGURAÇÃO DOS MODELOS – SIMULAÇÃO – ETAPA III

A terceira etapa compreendeu a utilização de ferramenta de simulação computacional *Daysim* para obtenção de medidas de desempenho da luz natural definidas no item 1.3. Os modelos foram simulados e extraíram as métricas dinâmicas: Iluminância Natural Útil (INU% anual), Autonomia da Luz Natural (ALN% anual), e na sequência, o cálculo do parâmetro Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural (POLN%). Este índice foi determinado com o aplicativo *Evalglare* desenvolvido por Weinold (2010).

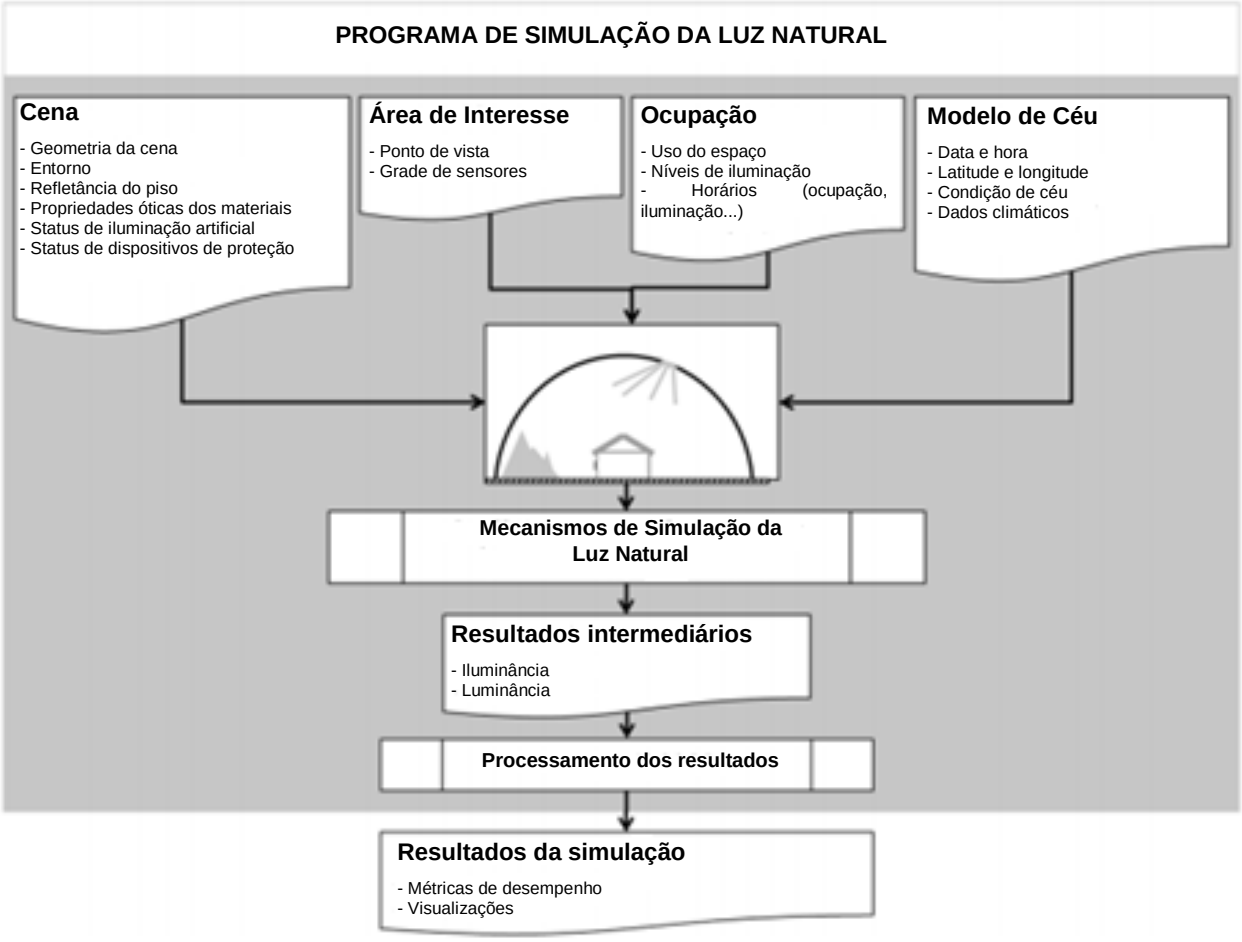
2.3.1. *DAYSIM* 3.1 *BETA*

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi utilizado como ferramenta de simulação, o *Daysim.* Software validado pelo *National Research Council Canada* (NRCC), que utiliza os algoritmos do *Radiance* para analisar o desempenho da iluminação natural com opção de aliar

aos sistemas de controle automatizados, como os *dimmers* para fontes artificiais, e às proteções, como cortinas e persianas (REINHART e WALKENHORST, 2001). Os dados de entrada da simulação no *Daysim* se enquadram em 4 categorias: a Cena, Áreas de Interesse, Ocupação e Modelos de Céu.

Os elementos da Cena englobam a geometria do modelo, as propriedades óticas dos materiais (refletividade), *status* de iluminação artificial e tipo de dispositivos de proteção adotado. A modelagem pode ser desenvolvida em qualquer *software* de desenho que disponha de conversor para extensão do 3D Studio Max. Para esta pesquisa, os cenários foram modelados com auxílio do *Google Sketchup Pro 8.0* com extensão .3ds, onde o programa de simulação transformam em arquivos com formato *Radiance* (.rad), materiais e suas características óticas. A Figura 2.10 demonstra as etapas iniciais do *Daysim*.

Figura 2.10 - Sequência do programa Daysim.



Fonte – Tutorial *Daysim*, adaptado pela autora.

Para a definição dos pontos de medição, o programa exige um arquivo referente a Áreas de Interesse das simulações que compreende a grade de sensores para cálculo das

iluminâncias (.pts) e os arquivos de visão ou *View File* (.vf), específico para o cálculo do ofuscamento. O padrão de ocupação refere-se ao tipo de uso do espaço bem como seus horários de ocupação (.occ).

Os estudos dinâmicos da luz natural são realizados por um período anual, considerando condições reais de disponibilidade de luz natural com base no *Typical Reference Year* - TRY (MARDALJEVIC, 2003). A partir deles, o Modelo de Céu é determinado pela data/ hora, latitude/ longitude, condição de céu ou modelos de céu de Perez, onde convertem os dados do TRY em arquivos climáticos horários (*Weather Data* – .wea).

Neste sentido, utilizou-se o arquivo climático TRY específico da cidade de João Pessoa-PB com extensão do *Energy Plus Weather* (.epw), dados elaborados por Roriz (2012), a partir de registros do INMET correspondente ao ano típico de 2008.

O programa disponibiliza uma configuração de 5 a 60 minutos dependendo do tipo de análise. Seu uso viabiliza o tempo de simulação para todas as horas do ano, evitando a necessidade de simular todas as condições de céu, por se tratar de perfil com comportamento dinâmico de iluminação. É recomendada para estudos de iluminação natural a simulação horária, sendo adotada esta opção na pesquisa.

Conforme a orientação do tutorial oficial da ferramenta *Daysim*, dependendo da geometria do modelo, o programa gera dados de entrada padrão correspondente à presença ou não de proteção solar, apresentados na Tabela 2.2. Como os modelos não possuem elementos complexos para o cálculo da luz natural, foram utilizados os dados sugeridos para fachada simples.

Tabela 2.2 - Dados de entrada para simulação em modelos com a presença de proteção solar.

	Ambient bounces	Ambient division	Ambient sampling	Ambient accuracy	Ambient resolution	Direct threshold	Direct sampling
Sem proteção	5	1000	20	0.1	300	0	0
Com proteção	7	1500	100	0.1	300	0	0

Fonte – Tutorial *Daysim*, adaptado pela autora.

O processo de simulação ocorre por meio do mecanismo raio traçado (raytracing), onde são extraídos dados de saída de iluminância com o *Daylight Coefficients* (.dc), *Annual Illuminance Profile* (.ill) e de ofuscamento com o *Daylight Glare Probability* (.dgp).

Ao final de cada simulação, o programa produz um relatório de desempenho com os resultados das métricas para cada ponto da malha, identificados por x, y e z. Nele são fornecidos os percentuais anuais das seguintes métricas: Fator de Luz Diurna (FLD - DF),

Autonomia da Luz Natural (DA - ALN), Autonomia da Luz Natural Contínua (DA_{con} - ALN_{con}), Autonomia da Luz Natural Máxima (DA_{max} - ALN_{max}), Iluminância Natural Útil (INU), Exposição Anual da Luz baseada ou não no consumo de energia referente à iluminação (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Relatório de resultados do Daysim.

x	y	z	DF [%]	DA [%] (act)	DA [%] (pas)	DA_{con} [%] (act)	DA_{con} [%] (pas)	DA_{max} [%] (act)	DA_{max} [%] (pas)	$UDI_{<100}$ [%] (act)	$UDI_{<100}$ [%] (pas)	$UDI_{100-2000}$ [%] (act)	$UDI_{100-2000}$ [%] (pas)	$UDI_{>2000}$ [%] (act)	$UDI_{>2000}$ [%] (pas)	DSP [%] (act)	annual light exp [luxh]
0.69	**8.8**	**42.85**	11.7	92	90	96	92	39	0	2	8	48	89	49	2	78	5914454
0.69	**9.9**	**42.85**	12.8	92	90	96	92	41	0	2	8	46	86	52	5	77	6391640
0.690	**11.0**	**42.85**	13.0	93	90	96	93	44	0	2	8	46	86	52	6	76	6510097
0.69	**12.1**	**42.85**	13.0	93	90	96	93	44	0	2	8	46	86	52	6	75	6500088
0.69	**13.2**	**42.85**	12.0	92	90	96	92	40	0	2	8	48	88	50	4	77	6057988
1.78	**8.80**	**42.85**	4.9	90	74	93	87	13	0	7	9	69	91	24	0	61	2493752
1.78	**9.90**	**42.85**	5.4	91	80	93	88	16	0	6	9	63	91	31	0	66	2782655
1.78	**11.0**	**42.85**	5.7	91	81	94	88	16	0	6	9	63	91	31	0	69	2896094
1.78	**12.1**	**42.85**	5.6	91	81	94	88	16	0	6	9	63	91	31	0	68	2838036
1.78	**13.2**	**42.85**	5.1	90	76	93	88	15	0	6	9	67	91	26	0	62	2616207
2.86	**8.80**	**42.85**	3.0	78	36	89	74	2	0	8	12	80	88	11	0	31	1545224
2.86	**9.90**	**42.85**	3.3	80	44	91	78	5	0	8	11	76	89	15	0	38	1712305
2.86	**11.0**	**42.85**	3.5	80	46	91	79	6	0	8	10	76	90	16	0	41	1774956

Fonte – *Daysim*, adaptado pela autora.

2.3.2. APLICATIVO *EVALGLARE*

A versão Daysim 3.1 Beta dispõe deste aplicativo para a análise do ofuscamento, a partir de imagens ou dos arquivos de pontos de visão. Desenvolvido por Wienold e Christoffersen, junto ao *Danish Building Research Institute* (Dinamarca) e o *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* (Alemanha), o aplicativo *Evalglare* determina fontes de brilho excessivo por meio dos índices: Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural (POLN) ou *Daylight Glare Probabily* (DGP).

O programa permite avaliação do desempenho da iluminação quanto ao conforto visual fazendo uso de imagens renderizadas ou arquivos de visualização, contendo coordenadas dos sensores que indicam a posição do olho do observador. A partir destes arquivos, denominados *view file,* é possível utilizar linhas de comando para configuração do tipo de lente e dos ângulos de visão.

O *Evalglare* recomenda o uso de arquivo de vista angular ou *view type angular* –vta com ângulos horizontais e verticais superiores a 180 graus (-vh>= 180 e-vv>= 180) do tipo *fisheye* ou olho de peixe, podendo ser produzidos pelo *Radiance* com o comando *rpict* de

extensão .pic. A Figura 2.11 ilustra um exemplo de aplicação de imagens renderizadas para avaliação de ofuscamento em áreas de trabalhos sob diferentes condições de proteção interna de aberturas.

Figura 2.11 - Imagem do tipo olho de peixe.

Fonte – Wienold (2009).

Não restrito apenas a modelos computacionais, o aplicativo permite o cálculo do ofuscamento em fotografias de ambientes reais. No entanto, exige extensão específica para imagem de alto alcance dinâmico ou *High Dynamic Range Image (*.hdr) com limite máximo de resolução até 800x800 pixel (WIENOLD, 2009).

2.4. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO – ETAPA IV

A quarta e última etapa incidiu na apresentação dos métodos de avaliação adotados na pesquisa, sendo estes divididos em dois itens: Desempenho anual da luz natural, referente à distribuição de luz natural nos ambientes internos e o percentual de área iluminada, e a Probabilidade de ofuscamento da luz natural (POLN) por meio de modelos estatísticos de regressão logística.

2.4.1. DESEMPENHO ANUAL DA LUZ NATURAL

Para determinação do desempenho anual da luz natural foram definidas como variáveis independentes os resultados extraídos da simulação no *Daysim* referentes às iluminâncias e aos percentuais anuais de Iluminância útil. A partir destes dados, foi possível explicar o comportamento da luz em alguns de seus aspectos qualitativos, tendo como variável resposta a uniformidade, e quantitativos com frequência anual e percentual de área iluminada.

Em cada ambiente, foram calculados os valores das iluminâncias em pontos de medição posicionados a 85cm do piso (altura do plano de trabalho) registrados em intervalos de 60minutos, das 06h00min às 16h30min, período em que a presença da luz natural foi considerada suficiente ao longo de todo o ano. Quanto à ocupação, foram considerados usuários passivos em relação ao uso de cortinas.

Se tratando de uma pesquisa com arquivos climáticos anuais, a amostra coletada apresentou um número considerável de dados horários. Neste sentido, utilizaram-se como base de cálculo a medida de variabilidade, desvio padrão, e a média aritmética entre os valores de cada amostra. Nessa etapa da análise, adotou-se o método validado por Futrell e Brentrup (2012), que consiste em investigar a magnitude da iluminância em conjunto com sua distribuição espacialmente e temporalmente e adequado para situações com grande número de dados – caso das simulações computacionais.

Inicialmente foram calculados os desvios padrão das iluminâncias na grade de sensores dispostos no ambiente, assumindo o valor da variação espacial por hora. Com a média dos desvios encontrados, determinou-se a distribuição espacial anual em cada modelo, denominada Variação Espacial da Luz Natural (*Spatial Daylight Variation – SDV*).

Seguindo o mesmo princípio, o desvio padrão das iluminâncias horárias definiu o comportamento horário da luz em cada sensor. A média de todos os desvios anuais foi utilizada como métrica da Variação Temporal da Luz Natural (*Temporal Daylight Variation – TDV*).

Ao final, cada ambiente apresentou uma medida de variação espacial e temporal, admitindo assim verificar a relação entre os dados de dispersão. Com isso, foi possível estimar o desempenho anual em todos os pontos calculados assumindo como uniformemente

distribuídos no espaço ou no tempo os valores com menor variação ou menor média de desvio padrão.

Apesar da variação espacial e temporal indicar a distribuição da iluminação no período de um ano, este resultado não determina se frequência dos valores se enquadra na faixa de iluminância recomendada. Complementarmente, utilizou-se a métrica de INU para estimar a frequência anual útil, a partir da média do percentual anual de iluminância entre as faixas de 300 a 3000 lux, definidas como suficiente ou autônoma. Relacionando a média de INU – MINU (*Mean Useful Daylight Illuminances - MUDI*) com a média da Variação Espacial e Temporal extraiu-se a Variação Geral da Luz Natural ou *Overall Daylight Variation – ODV* (FUTRELL e BRENTRUP, 2012).

Através de gráficos de dispersão, apresentou-se o panorama do desempenho da iluminação quanto às medidas mencionadas. Para a identificação da uniformidade, foram demonstrados os resultados com menor variação entre as categorias espaço e tempo, em conjunto, foram analisadas a frequência útil anual e o percentual de área iluminada com iluminâncias autônomas anuais acima de 75%.

Além da análise anual da uniformidade e da frequência útil, foram investigados os ambientes com maior percentual de área iluminada de acordo com os valores de iluminância útil. Considerando todos os sensores, foram quantificados os pontos que assumiram INU superior a 75% do ano e relacionados com o total de área do ambiente. Com base nos resultados registrados nos sensores, adotou-se como referência de ambientes iluminados naturalmente, os modelos que atingiram área iluminada superior a 50%.

Além das observações feitas com os gráficos de dispersão, também foi indicada a distribuição dos dados de variação espacial e temporal através de gráficos de caixa (*boxplots*) por categoria. A utilização destes gráficos permitiu realizar comparação entre os grupos a partir da medida de variabilidade dos dados.

Em complemento, aplicou-se o teste de hipóteses *Wilcoxon Rank* que verificou as possíveis diferenças entre as amostras comparadas e as respectivas as estimativas das diferenças. Além desta, também se estimou a margem de erro para a diferença esperada por meio dos intervalos de confiança. Para tanto, adotou-se como coeficiente de confiabilidade de 95%, sendo 5% a margem representada pelos limites superior e inferior.

2.4.2. PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO DA LUZ NATURAL – POLN

O método proposto por Wienold e Christofferson (2006) avalia a probabilidade de ofuscamento da luz natural (POLN) em quatro categorias: imperceptível, perceptível, desconfortável e intolerável. Esta classificação definiu o nível de desconforto visual através de dados de saída registrados em sensores posicionados na altura do olho do observador com aproximadamente 1,20m.

Diante do número considerável de dados coletados, os resultados foram organizados em planilhas Excel, sendo armazenados em arquivo com extensão *.txt* e exportados para programa gratuito de análise estatística *software* R versão 3.0.1. Optou-se pelo uso de métodos estatísticos, uma vez que os testes auxiliaram na determinação das variáveis de impactos significativos na ocorrência de ofuscamento.

Para análise exploratória dos dados, inicialmente foi avaliada a distribuição dos dados através de gráfico de caixas (*boxplot*), a fim de identificar as diferenças no comportamento do ofuscamento pelos valores de tendência central, máximos e mínimos da Probabilidade de Ofuscamento da Luz Natural (POLN) correspondentes a cada mudança de variável.

O primeiro teste realizado foi o Qui-quadrado de *Pearson* para verificar o grau de associação entre variáveis qualitativas. Hines *et al* (2006) apresenta o teste Qui-quadrado para identificar a independência de dois fatores como uma alternativa de análise de dados categorizados. Na sequência, foi aplicada a regressão logística múltipla, método estatístico da classe dos modelos lineares generalizados (MLG's). Este modelo estatístico se baseia na predição de valores de uma ou mais variáveis respostas (dependentes) a partir de uma coleção de valores de variáveis explicativas (independentes), podendo ser utilizada para avaliar os efeitos de uma variável sobre a outra (JOHNSON e WICHERN, 2007).

Hosmer e Lemeshow (2000) afirmam que a regressão logística se tornou um método padrão para realizar a análise de regressão utilizando variáveis binárias. De acordo com os referidos autores, o modelo segue os mesmos princípios gerais usados na regressão linear, diferenciando-se, porém, nas respostas e suposições feitas para sua concepção. Esta técnica permitiu produzir modelo de predição dos índices de ofuscamento (Y) tomados por uma variável categórica binária, a partir das variáveis de entorno e do edifício (X) tais como: o tipo de ocupação, adoção de dispositivo de proteção, orientação e pavimento ($X_{cenário}$, $X_{proteção}$, $X_{orientação}$, $X_{pavimento}$), considerados fatores que influenciam na ocorrência do evento.

Para tanto, tomou-se como resposta a ocorrência de desconforto visual utilizando apenas duas condições baseadas na classificação de Wienold e Christofferson (2006): a escala de ofuscamento imperceptível com POLN<0,35 para Y = 0 e a de perceptível, desconfortável e intolerável com POLN ≥ 0,35 para Y = 1 (Tabela 2.5). Este critério foi adotado, uma vez que se fez necessária a escolha de faixas de predição referente à ocorrência ou não do evento.

Tabela 2.4 - Faixas de predição de ofuscamento.

	IMPERCEPTÍVEL	PERCEPTÍVEL	DESCONFORTÁVEL	INTOLERÁVEL
POLN	< 0,35	0,35 - 0,40	0,40 - 0,45	≥ 0,45
POLN ADOTADO	< 0,35	≥ 0,35		
CONDIÇÃO	Não ocorre ofuscamento (0)	Ocorre ofuscamento (1)		

FONTE – Adaptado de Wienold e Christofferson (2006).

O modelo de regressão logística múltipla é obtido através do logaritmo natural da razão da chance, expresso a partir da equação 2.1:

$$\ln\left(\frac{p\,(sucesso)}{1-p(sucesso)}\right) = \boldsymbol{\beta_o} + \boldsymbol{\beta_1}.\boldsymbol{X_1} + \cdots + \boldsymbol{\beta_n}.\boldsymbol{X_n} \quad \text{(Equação 0.1)}$$

Sendo: $\beta 0$ = Coeficiente constante; $\beta 1X1$ = Coeficiente e variável X; βnXn = Coeficiente e variável n;

Quanto à inferência estatística do modelo, foram avaliadas as hipóteses sobre as estimativas dos coeficientes (β). A primeira delas, a estatística de *Wald*, tem a finalidade de aferir o grau de significância de cada coeficiente da equação logística e verificar se cada parâmetro estimado é significativamente diferente de 0. Similar ao teste T avalia a hipótese de que um determinado coeficiente é nulo, sendo feita, a partir do seu resultado, a seleção das variáveis para construção do modelo. No software R é expresso através do valor p definido como *Pr (| Z |)*.

Com a equação identificada, procedeu-se para a estimativa dos coeficientes através do método da máxima verossimilhança. Trata-se de um recurso que facilita a identificação dos coeficientes necessários para o cálculo a probabilidade máxima associada à ocorrência de ofuscamento. Esta etapa consistiu em determinar se os coeficientes das variáveis independentes estão relacionados significativamente à variável resposta, denominada teste Qui-quadrado da razão de verossimilhança.

Diferente do modelo linear, os coeficientes logísticos estimados não possuem nenhum significado intuitivo, ainda que indiquem se a probabilidade aumentou ou diminuiu quando

assinalados com valores positivos e negativos, respectivamente. Neste sentido, a interpretação da variação ocorrida entre as variáveis independentes se relaciona com o impacto de cada coeficiente sobre a chance de ocorrer ofuscamento.

Definida como medida de associação que expressa a aproximação do quanto é mais provável ou improvável ocorrer o evento. Esta chance pode ser expressa da seguinte forma:

$$\boldsymbol{Razão\ da\ chance\ (OR)} = \left(\frac{\boldsymbol{p(sucesso)}}{\boldsymbol{1-p\ (sucesso)}}\right) = \boldsymbol{e^{(\beta 0+\beta 1.X1+\cdots+\beta n.Xn)}} \qquad \text{(Equação 0.2)}$$

Considerando que cada dado de ofuscamento assumiu posições binárias (0 ou 1), foi possível associar a probabilidade das observações através da Razão da chance (*Odds ratio*), uma vez que permitiu obter conclusões sobre a natureza das relações entre as variáveis do entorno e do edifício com a ocorrência de desconforto visual. Como forma de cruzamento dos resultados gerados pelo modelo, também se avaliou a frequência de ocorrência de cada variável por categoria expressa na equação, reforçando assim as conclusões dos testes.

3. Capítulo

3 CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE ANÁLISE

Essa etapa divide-se nos seguintes itens: caracterização do coeficiente de reflexão médio predominante no bairro de Manaíra, definição dos tipos de cenários e do edifício de análise e modelagem para construção dos arquivos de pontos de medição das simulações referentes a grade de iluminância e posição do observador para índices de ofuscamento.

3.1. COEFICIENTE DE REFLEXÃO MÉDIO

Para a caracterização do coeficiente médio das superfícies verticais no recorte urbano analisado, foi realizada a seleção de alguns edifícios do bairro em virtude do número considerável de unidades. Diante do caráter verticalizado com gabaritos variados, a escolha foi feita considerando-se um recorte temporal, período de 2000 e 2010, a partir da identificação do ano de registro do Habite-se. A amostra constitui 25 unidades, ilustradas na Figura 3.1.

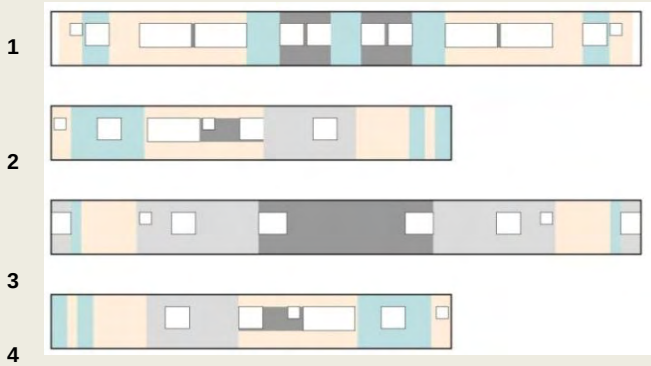
Figura 3.1 - Amostra das edificações.

FONTE – Prefeitura Municipal de João Pessoa - PMJP (2012).

Os dados obtidos no levantamento foram compilados conforme a Tabela 3.1, na qual apresenta-se as características do edifico Pablo Neruda, que possui orientações: nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste. O coeficiente de reflexão médio encontrado para este edifício foi de 59,50.

Tabela 3.1 - Procedimento de cálculo da refletância média.

01: RESIDENCIAL PABLO NERUDA



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO				COEFICIENTE
		AZUL	BEGE	PRETO	BRANCO	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	30,23	50,88	3,71	15,19	59,71
2	SUDESTE	27,91	43,30	4,69	24,09	60,94
3	SUDOESTE	3,82	20,99	28,85	46,34	56,19
4	NOROESTE	27,91	43,30	4,69	24,09	60,94
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		42	67,5	10	81	**59,50**

No anexo 03 deste trabalho foram inseridas as 24 tabelas restantes, correspondentes ao levantamento do coeficiente de reflexão das superfícies externas dos edifícios em análise. Grande parte dos edifícios da amostra possuem diferentes acabamentos externos, tendo sido necessário para cada coeficiente de reflexão existente o cálculo da área de fachada correspondente. A média (ponderada em relação à área de fachada) resultou no coeficiente de reflexão médio do edifício. Ao final, o somatório de todos os coeficientes de reflexão levantados divididos pela quantidade de edifícios da amostra resultou no coeficiente médio para o recorte urbano em análise, totalizando em uma reflexão média de 58,65%.

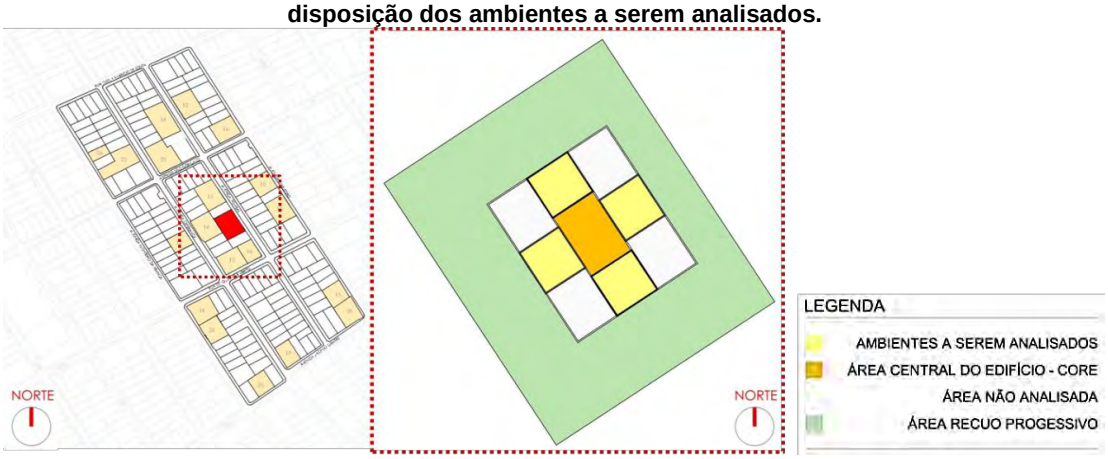
3.2. CENÁRIOS, EDIFÍCIOS DE ENTORNO E EDIFÍCIO DE ANÁLISE

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho foram estabelecidas algumas diferenças entres os edifícios do entorno e o edifício de análise, bem como diferenças, nos

edifício do entorno entre os cenários, destacando-se o seguinte: 1) Todos os edifícios do entorno possuem PAF variável conforme a orientação, respeitando as frequências de ocorrências encontradas no levantamento "*in loco*", ao contrário, o edifício de análise possui o mesmo PAF para todas as orientações; 2) Somente nos edifícios do entorno foram inseridos elementos de proteção solar; 3) O cenário de ocupação máxima possui variações no coeficiente de reflexão das superfícies externas, bem como variações nos elementos de proteção solar; 4) No cenário atual (Base), o coeficiente de reflexão das superfícies externas adotado nos edifícios do entorno é constante (correspondente à média obtida no levantamento) e o PAF é variável conforme a orientação, porém, as aberturas não possuem elementos de proteção solar.

Inserido em quadra e lote centrais, o modelo apresentou dimensões de 39m x 30m (1.170m²), resultante do remembramento de três terrenos de 13mx30m. Inserido em Zona Adensável Prioritária (ZAP), o recorte obedece ao Decreto nº5900/2007 que permite a intensificação do uso e a ocupação do solo, cujo com índice de aproveitamento básico poderá ser ultrapassado até o limite de 4,0. Adotando uma altura de 45m, equivalente a 15 pavimentos, aplicou-se a regra do recuo progressivo resultando em afastamentos laterais e de fundos medindo 8,5m e recuo frontal com 5,0m, segundo exigência do Código de Obras da cidade de João Pessoa. A lâmina do edifício ficou em formato retangular, adotando configuração predominante no bairro, cuja área atingiu 363,50m² (16,5m x 22m) (Figura 3.2).

Figura 3.2 - Localização do lote onde será inserido o modelo base e planta esquemática do terreno com a disposição dos ambientes a serem analisados.



FONTE – Elaborado pela autora.

Cada pavimento comporta quatro unidades habitacionais com área em média de 80 m² e com *core* de 25 m². Todos os ambientes internos do edifício de análise apresentaram área de 35,75m² com dimensões de 5,50m de comprimento e 6,5m de profundidade. As aberturas, por sua vez, foram dispostas em toda extensão da face interna da parede do

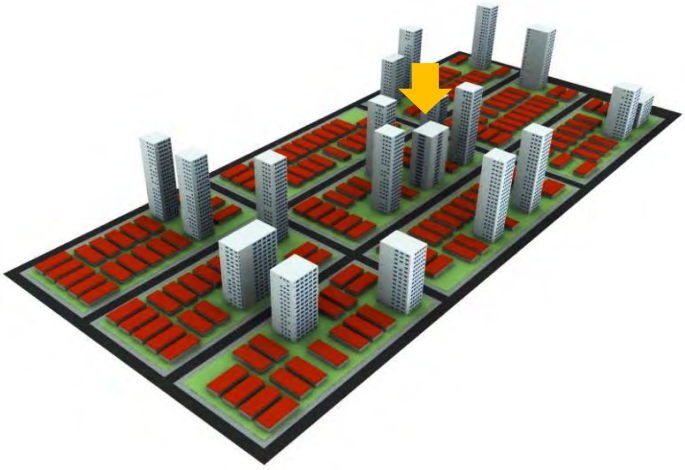
ambiente, com comprimento de 5,50m, altura de 1,20m e verga a 2,20m do piso. O planta do pavimento tipo foi dividida em três zonas: a primeira composta pelos ambientes a serem analisados (em amarelo), a área central, definida como o *core* do edifício (em laranja) e as zonas distribuídas nas extremidades do edifício (em cinza), sendo estas dispensadas da análise.

Quanto aos coeficientes de reflexão interna, foram aplicados 70%, 30% e 80%, correspondente à refletividade de parede, piso e teto, respectivamente. Já para as janelas adotou-se uma transmissão luminosa de 90%, coeficiente de reflexão de 6,7%, valores estes equivalentes ao vidro incolor simples de 6mm (CEBRACE). Atendendo as exigências do RTQ quanto à baixa absortância das superfícies das fachadas, foram aplicados 90% de refletividade para a envoltória, sendo esta uma condição máxima de refletividade.

Por se tratar de uma pesquisa que envolve variáveis externas, o edifício de análise é constante em todos os cenários, não sofrendo influência de mobília, a fim de minimizar o tempo de processamento para a geração de dados.

O cenário Base – Atual (M1) seguiu a mesma configuração dos edifícios existentes, apresentando 17 unidades com mais de cinco pavimentos, acompanhado da mesma localização da tipologia de análise presente na quadra central destacado de amarelo. Os demais lotes representaram as unidades habitacionais unifamiliares com pavimento único. A Figura 3.3 ilustra a construção deste modelo executada no *Sketchup* v8.0.

Figura 3.3 - Cenário base.



FONTE – Elaborado pela autora.

Definidos pela tipologia de entorno, os cenários hipotéticos representaram duas categorias: Cenário sem ocupação com edifício isolado (M2) e o de máxima ocupação.

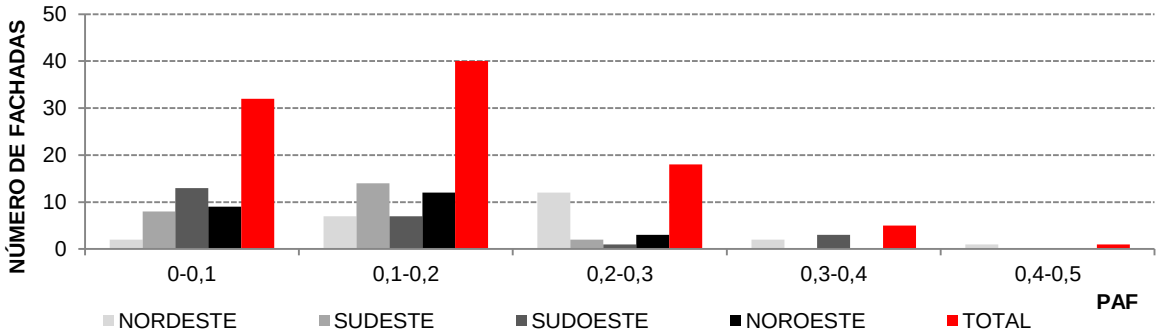
Nestes, por sua vez, foram modelados edificações conforme disposição dos lotes, respeitando o regulamento do Código de Obras (Figura 3.4). Como a maioria dos terrenos contem dimensão de testada entre 12 e 15m, os mesmos foram agrupados a partir de um remembramento entre 2 e 3 unidades, partindo do padrão existente nos edifícios do bairro. Neste sentido, as edificações foram desenvolvidas segundo o limite de aproveitamento do solo permitido e do índice de ocupação em sua totalidade. Seguindo exigência da legislação, aplicou-se a regra dos recuos progressivos[8] os quais variam em função da altura das edificações.

Figura 3.4 - Cenários hipotéticos sem proteção nas aberturas.

FONTE – Elaborado pela autora.

As dimensões das aberturas (nos edifícios do entorno) seguiram o número de ocorrências do comprimento e da largura das aberturas identificadas no levantamento "in loco", respeitando o percentual de abertura na fachada (PAF%) por orientação. Estes dados foram ilustradas nas Figuras 3.5, 3.6, 3.7.

Figura 3.5 - Percentual de abertura na fachada (%).

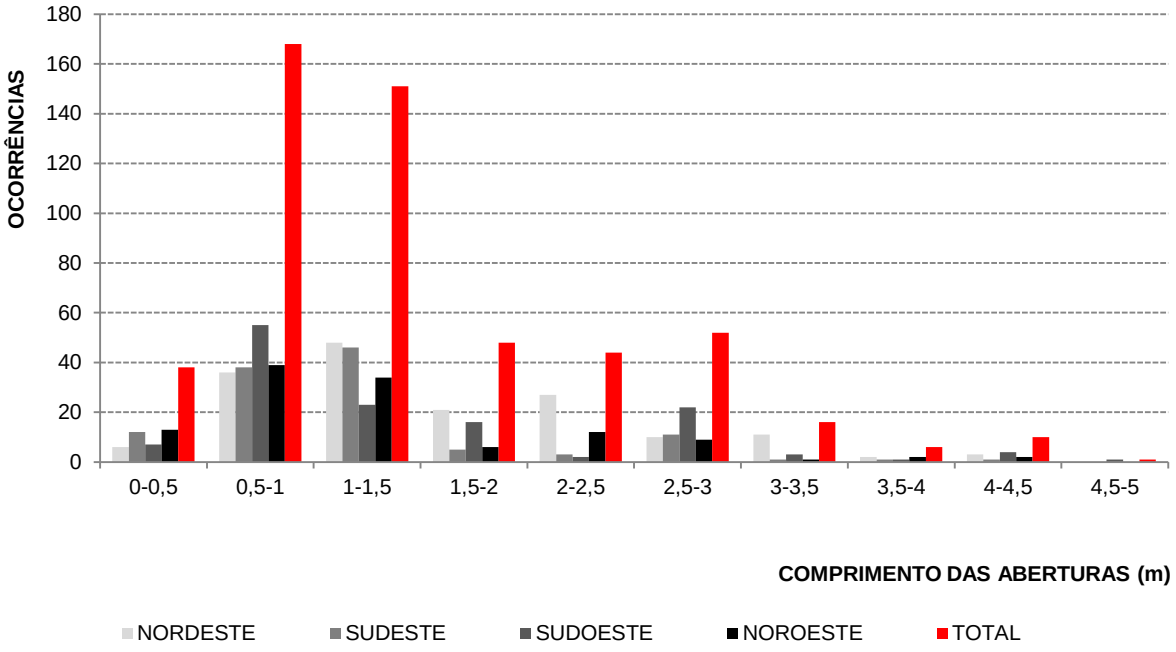


FONTE – Elaborado pela autora.

[8] O cálculo do recuo frontal para a ZA3 é 5,00 e o progressivo para laterais e fundos é feito através da fórmula 4+ H/10, sendo H a altura do edifício – Decreto nº 5900/2007.

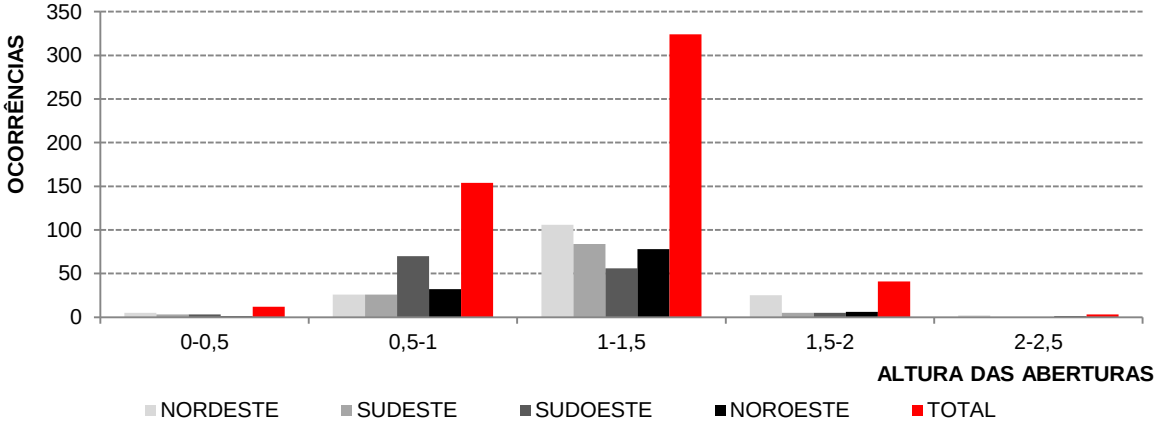
Considerando o resultado da amostra, foi detectado que a fachada Nordeste apresentou maior abertura, em virtude da presença de varandas e janelas nesta orientação, destinadas a ventilação e iluminação de ambientes sociais como quartos e salas. A área destas aberturas atingiu entre 20 e 30% da fachada. Já fachada Sudoeste alcançou faixa mínima com PAF de até 10%, orientação com maior predominância de janelas para o setor de serviços e a circulação vertical dos edifícios.

Figura 3.6 - Comprimento das aberturas por fachada.



FONTE – Elaborado pela autora.

Figura 3.7 - Altura das aberturas por fachada.



FONTE – Elaborado pela autora.

As dimensões das aberturas também obedeceram à frequência por faixa de ocorrência em cada orientação. As Figuras 3.5 e 3.6 destacam as seguintes faixas: entre 1,00-1,50 x

1,00-1,50 para fachadas Nordeste e Sudeste, 0,50 - 1,00 x 0,50 - 1,00 para a Sudoeste e 0,5 -1,00 x 1,00 x 1,50 para a Noroeste. A definição de cada medida tomou como base o PAF(%) de cada fachada, conforme ilustrada na Figura 3.7. Partindo destes dados, para todos os edifícios de entorno, foram aplicadas as dimensões das aberturas encontradas, seguindo os valores mais recorrentes em cada orientação.

3.3. PROCESSAMENTO DAS SIMULAÇÕES

Após a modelagem dos cenários, a etapa seguinte consistiu na preparação dos dados de entrada do programa *Daysim*. A Tabela 3.2 esquematiza a síntese das simulações determinada de acordo com os modelos dos cenários, as variáveis de entorno e do edifício de análise, sendo 12 restritas ao Cenário Base – Atual e 108 simulações para os Cenários Hipotéticos. Este quadro resumo das simulações foi utilizado tanto para a análise das medidas de desempenho da luz natural como também para o ofuscamento, totalizando 240 simulações.

Tabela 3.2 - Síntese total das simulações.

TIPO DE CENÁRIOS		PROTEÇÃO	DIMENSÃO	ORIENTAÇÃO	PAVIMENTO	SIMULAÇÕES POR MODELO
M1 BASE – ATUAL		_	_	4	3	12
M2 ISOLADO		_	_	4	3	12
M3 OCUPAÇÃO MÁXIMA	A (MÉDIO)	P0	0,00	4	3	12
		P50	0,50m	4	3	12
		P100	1,00m	4	3	12
		P150	1,50m	4	3	12
	B (90)	P0	0,00	4	3	12
		P50	0,50m	4	3	12
		P100	1,00m	4	3	12
		P150	1,50m	4	3	12
					PARCIAIS	**120 SIMULAÇÕES**

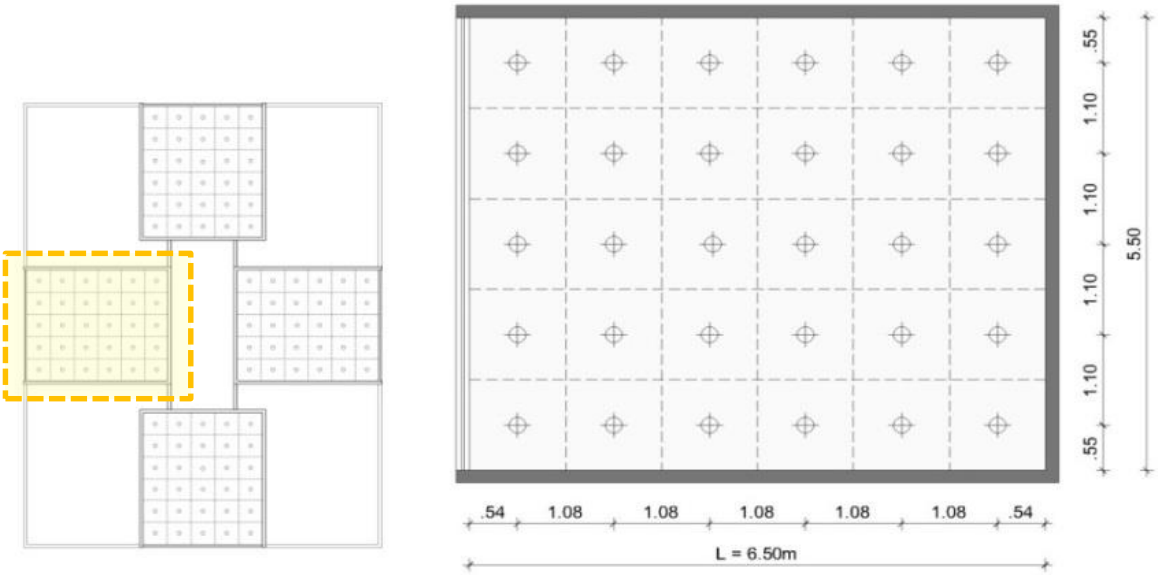
Fonte – Elaborado pela autora.

Segundo exigência do *software*, para o cálculo das iluminâncias na simulação, foi elaborado um arquivo de pontos no formato (*.pts*), que indicou as coordenadas dos sensores no plano de análise bem como sua direção.

Os pontos foram definidos a partir das recomendações da NBR 15215-4/ 2005, dividiram o ambiente interno cada ponto foi centralizado em áreas com quadrantes iguais de medida 1,10m x 1,08m. Com isso, totalizou uma malha de 30 pontos equidistantes (1,10m), a 0,55m afastados da parede e plano de trabalho a 85 cm do piso com o sensor direcionado

para cima. A grade de sensores está esquematizada na Figura 3.8, com destaque para o ambiente localizado na fachada Sudoeste.

Figura 3.8 - Malha de pontos para análise de iluminância anual (IULN e ALN) – Medição para Fachada Sudoeste.



FONTE – Elaborado pela autora.

A iluminância referência foi escolhida segundo valores recomendados pela NBR 5413/1992 para ambientes residenciais. Como o valor mínimo pela Norma se enquadra na faixa insuficiente (200 lux), foi atribuída iluminância de 300 lux como mínima e 10 vezes este valor como máxima – 3000 lux, uma vez que acima desta faixa o contraste passa a comprometer o conforto visual.

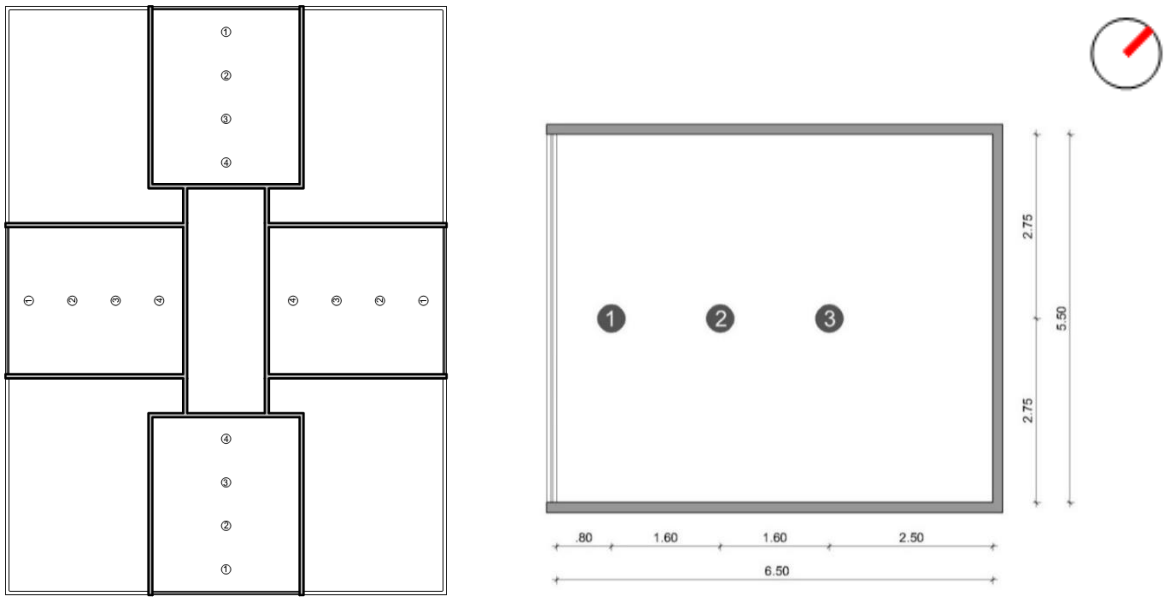
Os relatórios finais do *Daysim* disponibilizam os dados de Iluminância Natural Útil com faixas indicadas especificamente para uso comercial (abaixo de 100lux, entre 100 e 2000lux e acima de 2000lux). Neste sentido, foi necessária a configuração da ferramenta de acordo com os parâmetros sugeridos por Mardaljevic (2012) para os limites de iluminâncias adequados ao uso residencial. Para adaptar o valor de Iluminância Natural Útil (INU) entre a faixa 300 e 3000 lux, foi utilizado como base de cálculo os dados de Autonomia da Luz Natural (ALN), sendo ALN_{300lux} e a $ALN_{3000lux}$, seguindo fórmula recomendada pelo autor:

$$\mathbf{ALN_{300lux} = INU_{300\text{-}3000} + ALN_{3000lux}}$$

Juntamente com os dados de INU calculado, também foram tabulados os valores de iluminâncias horárias no Excel, agrupados em categorias: de entorno (tipo de cenário e proteção externa) e do edifício (pavimento e orientação). Esta estrutura serviu para construção do quadro de dados utilizado para avaliação do desempenho da luz natural: distribuição e porcentagem anual de área iluminada nos espaços internos.

Para o cálculo da probabilidade de ofuscamento, foram locados quatro sensores equidistantes alinhados perpendicularmente ao eixo central da janela (2,75m), sendo o primeiro locado a 0,80m da abertura, o segundo, o terceiro e o quarto a cada 1,60m, com altura do olho do observador a 1,20m do piso. Após a definição dos sensores, o arquivo de pontos de vista foi elaborado partindo dos pressupostos necessários para entrada de dados no programa e aplicação do *Evalglare*. Cada ponto representou uma vista angular 180º (do tipo olho de peixe), direcionado à abertura, ilustrados na Figura 3.9.

Figura 3.9 - Posicionamento em planta baixa de esferas para medição de POLN (%).



FONTE – Elaborado pela autora.

Diante do longo período de realização do procedimento, o índice de ofuscamento não foi calculado com base em uma ocupação anual. A simulação seguiu o mesmo padrão de ocupação das métricas anteriores, das 06h00min às 16h30min em intervalos de 60 minutos, considerando apenas os quatro meses que iniciam as estações do ano (Março, Junho, Setembro e Dezembro). Ao final, os dados de saídas foram separados em tabelas de acordo com os tipos de cenários e as variáveis de análise caracterizadas no item 3.2..

4. Capítulo

4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

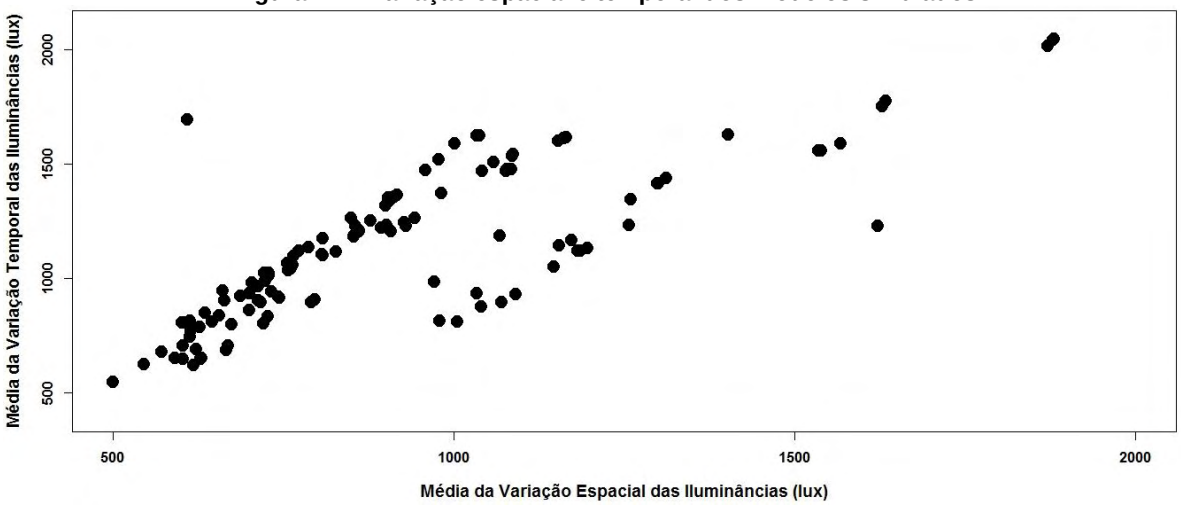
Neste capítulo são apresentados os resultados atingidos mediante a aplicação dos métodos destinados a esta pesquisa. Inicialmente foi avaliado os resultados obtidos com o levantamento do objeto de estudo para posterior análise de distribuição da luz natural, percentual de área iluminada e a probabilidade de ofuscamento da luz natural nos ambientes internos.

4.1. DISTRIBUIÇÃO DA LUZ NATURAL - UNIFORMIDADE

Sob o ponto de vista da uniformidade e com a finalidade de verificar a distribuição da iluminação natural nos 30 sensores situados nos ambientes internos no período de 4224 horas/ano, foi utilizado o método de Futrell e Brentrup (2012) para determinar a variação das iluminâncias dos modelos. Através de gráficos de dispersão, foram apresentados os resultados das 120 simulações referentes a cada ambiente em estudo. Na sequência, avaliou-se a influência da uniformidade para todas as variáveis explicativas: grau de obstrução, de acordo com os tipos de cenário, grau de sombreamento ocasionado pelo uso de dispositivos de proteção e as variáveis do edifício – orientação e pavimento.

A Figura 4.1 mostra as variações espacial e temporal dos ambientes simulados, onde cada ponto representa a média dos desvios padrão das iluminâncias por ambiente dentre os 120 modelos utilizados na pesquisa.

Figura 4.1 - Variação espacial e temporal dos modelos simulados.

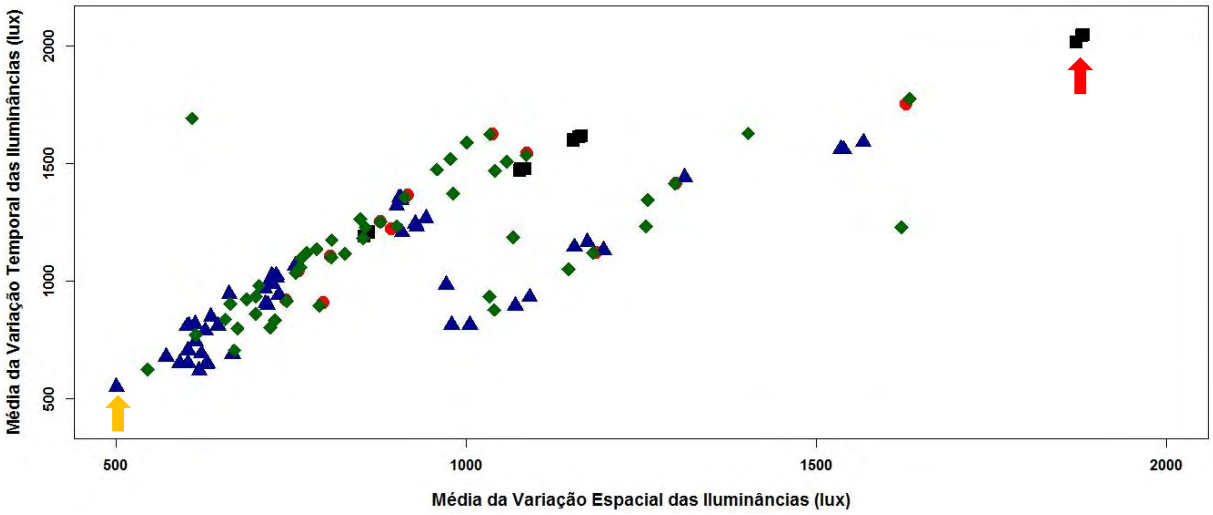


Fonte – Elaborado pela autora.

De acordo com estes dados, percebeu-se a grande dispersão entre a distribuição da iluminação natural, mudanças estas determinadas pelas diferenças das características dos modelos referentes às variáveis de entorno e do edifício. Com os pontos dispersos indicados no gráfico, confirmou-se a influência do grau de obstrução e de sombreamento do entorno, bem como das variáveis do edifício (orientação e pavimento) em grande parte das distribuições das iluminâncias. Diante das diferenças no comportamento da iluminação, as iluminâncias analisadas por sensor geraram alterações mais evidentes se comparadas aos registros horários entre os pontos de medição.

Na Figura 4.2, foram destacados em cores os modelos referentes a cada cenário, ilustrando a influência do entorno (diferentes cenários) na distribuição das iluminâncias. Destaca-se o agrupamento de ambientes com baixa variação nos modelos presentes em cenários de máxima ocupação representados nas cores azul e verde.

Figura 4.2 - Variação espacial e temporal dos modelos simulados – destaque para os cenários.



LEGENDA:

- Cenário Base – M1
- Cenário Isolado – M2
- Cenário de máxima ocupação com reflexão média – M3A
- Cenário de máxima ocupação reflexão 90% - M3B

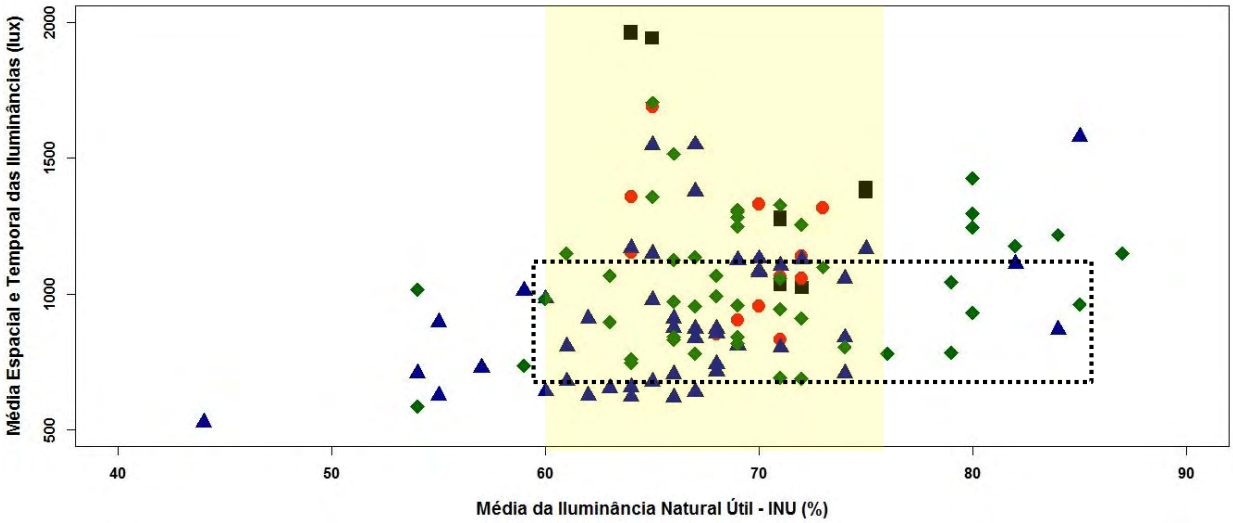
Fonte – Elaborado pela autora.

Dentre os modelos que registraram variações extremas, têm-se os ambientes com distribuição uniforme das iluminâncias e o de maior contraste, representados pelas setas amarela e vermelha, respectivamente. Dispostos em pontos muito próximos, a relação espaço-tempo entre o grupo de maior contraste atingiu média de desvios padrão das iluminâncias anuais entre 1.900 e 2000 lux. Em contrapartida, o de menor variação e considerado mais uniforme alcançou pouco mais que 500 lux.

Identificou-se como mais uniforme o ambiente situado em cenário de Máxima Ocupação com coeficiente de reflexão médio nas fachadas com proteção de 1,50m, fachada Noroeste e Pavimento Térreo (M3_AP150_NO1). Já os de maior variação, ou seja, com grandes possibilidades de contraste, estão inseridos no cenário Isolado, na orientação Sudoeste e nos três pavimentos (M2_SO1, M2_SO2 e M2_SO3), em virtude da ausência de entorno. É importante observar ainda a similaridade entre algumas distribuições presentes nos cenários Base (M1) e Ocupação Máxima com reflexão média nas fachadas (M3A), cujos pontos se mostram sobrepostos.

Na Figura 4.3, relacionam-se as médias de Iluminância Natural Útil (MINU) e as variáveis de distribuição da iluminação natural. Definida como frequência anual da luz natural, tem como finalidade avaliar a uniformidade dos modelos que se enquadram na faixa útil definida por Mardaljevic (2006).

Figura 4.3 - Frequência útil anual dos modelos simulados.



LEGENDA:

- Cenário Base – M1
- Cenário Isolado – M2
- Cenário de máxima ocupação com reflexão média – M3A
- Cenário de máxima ocupação com reflexão 90% - M3B

Fonte – Elaborado pela autora.

A partir desta relação, os resultados acusaram maior concentração entre 60 e 75% dos valores de Média da Iluminância Natural Útil (MINU) auferidos nos 30 sensores de cada ambiente, especialmente nos cenários Base e Isolado. Em contrapartida, os pontos, cuja média da variação espacial e temporal é superior a 1000lux, registraram baixa uniformidade da iluminação. Por este motivo, mesmo apresentando maior percentual na faixa de INU, se configuraram como resultados poucos desejáveis. Comportamento análogo ocorreu nos ambientes que registraram percentuais de iluminância útil inferiores à faixa autônoma em boa

parte do ano e baixa variação espacial e temporal, mais precisamente em seis ambientes inseridos no cenário de máxima ocupação com reflexão média (M3A – azul).

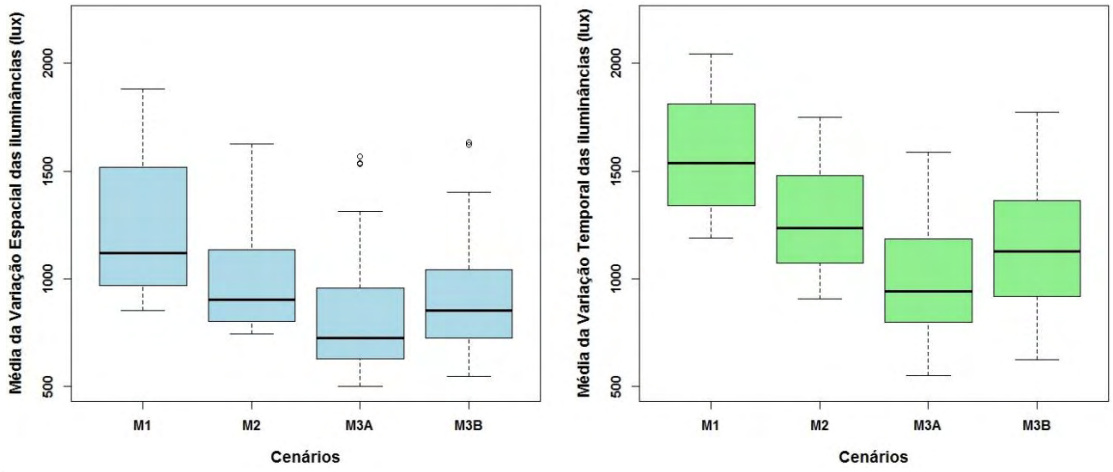
Com esta medida, percebeu-se que a maioria dos ambientes (destaque em amarelo na Figura 4.3) apresentou a média das iluminâncias útil (entre 300 e 3000 lux) em mais de 50% do ano. Os pontos marcados em retângulo preto corresponderam aos modelos com melhor relação entre as variáveis de frequência anual da luz natural, sendo os cenários de máxima ocupação com reflexão média (M3A – azul) e de máxima ocupação com reflexão 90% (M3A – verde) os de maior influência na uniformidade dentro da faixa útil de iluminâncias.

Nos tópicos a seguir foram realizadas análises comparativas entre as variáveis de entorno bem como do edifício, a partir de gráficos de caixa (*boxplots*) e da aplicação de testes de hipóteses, adotando nível de significância de 0,05. Com grupos de categorias pareadas, foram calculadas as diferenças estimadas entre os modelos, atribuindo argumentos de intervalos de confiança com nível de confiabilidade de 95%.

4.1.1. TIPO DE OCUPAÇÃO

A primeira variável de entorno analisada foi o tipo de ocupação. A Figura 4.4 ilustra as diferenças entre as variações de iluminâncias para os quatro cenários adotados na pesquisa. Os resultados expressos nos gráficos de caixa apresentaram comportamentos assimétricos, fornecendo maior variabilidade em escala horária.

Figura 4.4 - Média da variação espacial e temporal por cenário – *boxplots*.



LEGENDA:
M1 – Cenário Base
M2 – Cenário Isolado
M3A – Cenário de ocupação máxima com reflexão média
M3B – Cenário de ocupação máxima com reflexão de 90%

Fonte – Elaborado pela autora.

Os ambientes do edifício de análise que sofreram maior influência na distribuição das iluminâncias estão localizados nos cenários Base (M1) e Isolado (M2). Estes, por sua vez, registraram maior relação entre as variáveis espaço-tempo com 50% dos desvios padrão das iluminâncias (caixa) entre 900 e 2000 lux. Este resultado foi reforçado na avaliação da dispersão descrita através da Figura 4.4.

Também observado na Figura 4.4, para o bairro de Manaíra, o entorno de máxima ocupação com reflexão média nas fachadas contribuiu para a redução da variabilidade das iluminâncias, sendo o cenário que ofereceu maior uniformidade nos ambientes internos. Ainda que semelhante quanto ao grau de obstrução nos cenários de máxima ocupação, os ambientes inseridos no modelo M3B apresentaram mudanças no comportamento das iluminâncias, em virtude da adoção da variável coeficiente de reflexão de 90% nas fachadas do entorno. A refletividade das superfícies externas foi o fator determinante para a diferença das distribuições da luz natural dos ambientes nos cenários com configuração máxima.

Para comparação entre os modelos de ocupação, foram aplicados os seguintes pressupostos: teste de normalidade *Shapiro Wilk* e o teste de variância *ncvTest*. De acordo com o resultado dos testes, pode-se concluir que os dados de variação espacial e temporal não apresentam distribuição normal e não possuem variância constante. Neste sentido foi aplicado o teste de hipóteses *Wilcoxon Rank* para determinar as diferenças entre os modelos de ocupação, tomando como referência o cenário Base (M1) (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Resultado do teste de hipóteses – Cenários.

VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAIS					
CENÁRIOS	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
M1 x M2	192,12	400	-25	0,1259	**Não rejeita a Ho**
M1 X M3A	356	523	182	0,00065	Rejeita a Ho
M1 X M3B	265	441	98	0,001433	Rejeita a Ho
M2 X M3A	167	298	32	0,02037	Rejeita a Ho
M2 X M3B	85,5	224	-53	0,1953	**Não rejeita a Ho**
M3A X M3B	-86	-7	-161	0,03776	Rejeita a Ho
VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAIS					
CENÁRIOS	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
M1 x M2	291,61	561	56	0,04036	Rejeita a Ho
M1 X M3A	585,53	797	396	$6,793 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho
M1 X M3B	406,96	619	235	0,0004456	Rejeita a Ho
M2 X M3A	289,5	468	104	0,002582	Rejeita a Ho
M2 X M3B	114	305	-77	0,2369	**Não rejeita a Ho**
M3A X M3B	184	289	66	0,003754	Rejeita a Ho

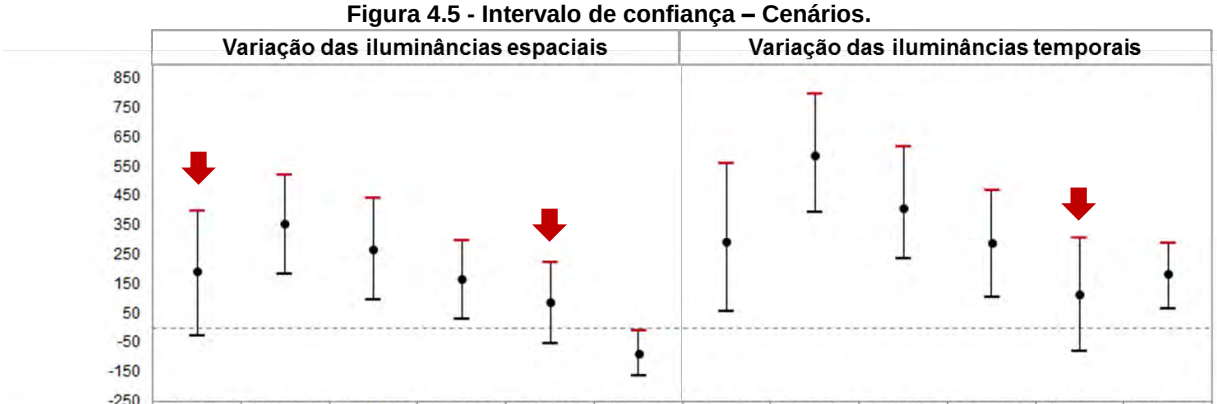
LEGENDA:
M1 – Cenário Base
M2 – Cenário Isolado
M3A – Cenário de ocupação máxima com reflexão média
M3B – Cenário de ocupação máxima com reflexão de 90%
Ho – Hipótese nula

Fonte – Elaborado pela autora.

A Tabela 4.1 descreve os resultados referentes às distribuições por pares de cenários, as estimativas das diferenças bem como a margem de erro destas através do intervalo de confiança. Conforme o resultado do teste de hipóteses observaram-se diferenças significativas em grande parte das categorias ao avaliar o comportamento das variações das iluminâncias entre as amostras pareadas.

Os cenários destacados na Figura 4.5 (com seta vermelha) apresentaram semelhanças entre as medidas de posição dos dados, confirmando a hipótese nula pelo registro do valor *p* abaixo de 0,05. A margem de erro foi registrada pelos intervalos de confiança resultantes destes modelos, de modo que a sobreposição dos modelos ao eixo "zero" indicou possíveis similaridades entre os cenários comparados.

Figura 4.5 - Intervalo de confiança – Cenários.



	M1 x M2	M1 X M3A	M1 X M3B	M2 X M3A	M2 X M3B	M3A X M3B	M1 x M2	M1 X M3A	M1 X M3B	M2 X M3A	M2 X M3B	M3A X M3B
● DIFERENÇA	192,12	356	265	167	85,5	-86	291,61	585,53	406,96	289,5	114	184
– LIMITE SUPERIOR	400	523	441	298	224	-7	561	797	619	468	305	289
– LIMITE INFERIOR	-25	182	98	32	-53	-161	56	396	235	104	-77	66

LEGENDA:
M1 – Cenário Base
M2 – Cenário Isolado
M3A – Cenário de ocupação máxima com reflexão média
M3B – Cenário de ocupação máxima com reflexão de 90%

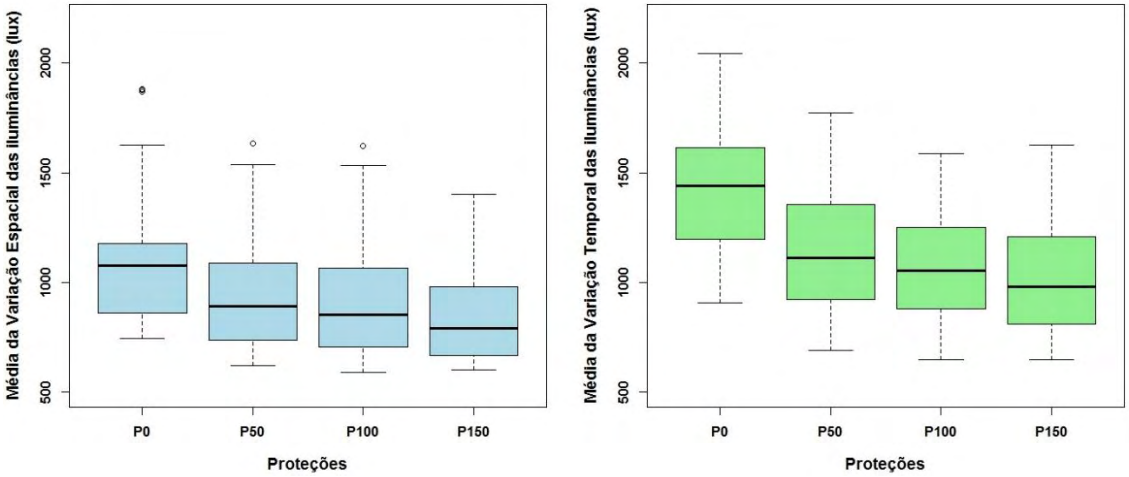
Fonte – Elaborado pela autora.

A partir desta constatação, conclui-se que os ambientes inseridos nos cenários Base e Isolado não apresentaram diferenças entre as variações das iluminâncias espaciais, assim como os modelos do cenário Isolado x Ocupação máxima com reflexão de 90%, que obtiveram estimativas da diferença entre os valores negativos e positivos com a margem de 5%. Neste sentido, estes resultados apontaram grandes chances de semelhanças nas distribuições das iluminâncias tanto espacialmente e temporalmente.

4.1.2. TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR

No que se refere à variação do grau de sombreamento dos edifícios de entorno, determinado pelo dispositivo de proteção solar das fachadas, as distribuições das iluminâncias podem ser categorizadas e representadas conforme gráfico abaixo. Diante da especificidade da variável, esta análise considerou apenas os modelos inseridos nos cenários de ocupação máxima. A Figura 4.6 ilustra as diferenças entre as variáveis, sendo perceptível a redução nas variações das iluminâncias ao adicionar dispositivo de proteção externa no entorno, sobretudo com a substituição do modelo sem sombreamento na fachada (P0) pelos dispositivos com dimensões maiores (P100 e P150).

Figura 4.6 - Média da variação espacial e temporal por proteção – *boxplots*.



LEGENDA:
P0 – Entorno sem proteção
P50 – Entorno com proteção de 0,50m
P100 – Entorno com proteção de 1,00m
P150 – Entorno com proteção de 1,50m

Fonte – Elaborado pela autora.

Pelo gráfico, observou-se que os ambientes inseridos no cenário de ocupação máxima, cuja proteção solar das fachadas de entorno mede 1,50m, apresentaram uma melhor distribuição da iluminação. Similar à análise dos tipos de ocupação, os testes de normalidade e variação constante foram rejeitados, conforme apresenta na Tabela 4.2. Partindo destes pressupostos, aplicou-se o teste não paramétrico *Wilcoxon* de modo a averiguar as possíveis diferenças das distribuições das iluminâncias ao adotar o uso de elemento de sombreamento nas fachadas de entorno. Considerou-se como categoria referência o cenário sem proteção (P0), sendo este comparado com as demais.

Constatou-se, no entanto, que ao comparar os resultados entre os modelos com elemento de proteção (P50, P100 e P150), as hipóteses de igualdade dos postos não foram

rejeitadas, considerando nível de significância de 0,05 para o valor *p* e margem de erro de ±5% (intervalo de confiança de 95%) para as estimativas.

Tabela 4.2 – Resultado do teste de hipóteses – Proteções.

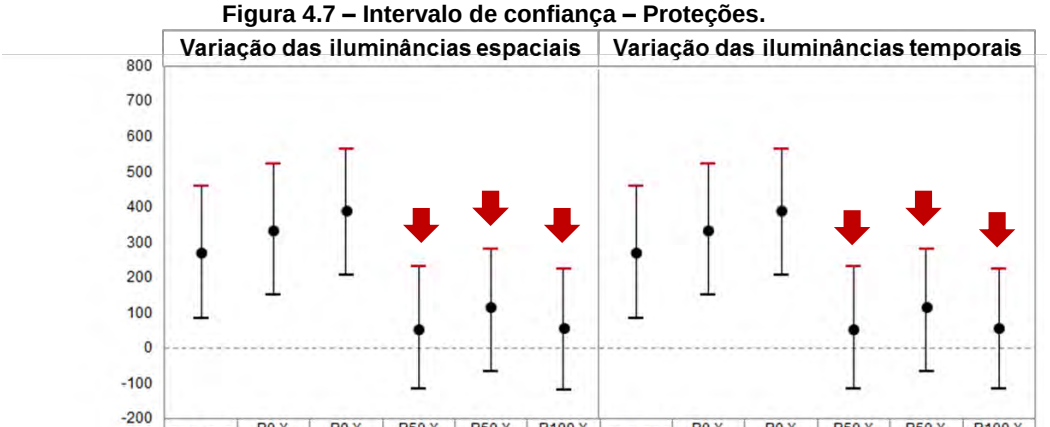
VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAIS					
PROTEÇÃO	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
P0 X P50	268,6	457	85	0,006906	Rejeita a Ho
P0 X P100	331	520	151	0,0008677	Rejeita a Ho
P0 X P150	388	564	206	0,0001897	Rejeita a Ho
P50 X P100	51	230	-117	0,4037	**Não rejeita a Ho**
P50 X P150	114,5	281	-66	0,1939	**Não rejeita a Ho**
P100 X P150	55,4	224	-118	0,4641	**Não rejeita a Ho**
VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAIS					
PROTEÇÃO	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
P0 X P50	268,56	457	85	0,006906	Rejeita a Ho
P0 X P100	331	520	151	0,0008677	Rejeita a Ho
P0 X P150	388,36	564	206	0,0001897	Rejeita a Ho
P50 X P100	51	230	-117	0,4037	**Não rejeita a Ho**
P50 X P150	114	281	-66	0,1939	**Não rejeita a Ho**
P100 X P150	55,42	224	-117	0,4641	**Não rejeita a Ho**

LEGENDA:
P0 – Entorno sem proteção
P50 – Entorno com proteção de 0,50m
P100 – Entorno com proteção de 1,00m
P150 – Entorno com proteção de 1,50m
Ho – Hipótese nula

Fonte – Elaborado pela autora.

A Figura 4.7 reforça o resultado do valor *p* com as estimativas para as proteções. De acordo com o teste de hipóteses, confirmaram-se semelhanças entre as variações espaciais e temporais em todos os modelos com proteção. Em contrapartida, comportamentos distintos foram observados ao comparar os ambientes inseridos em cenário sem proteção (P0) com os do edifício com entorno sombreado por qualquer elemento de proteção.

Figura 4.7 – Intervalo de confiança – Proteções.



	P0 X P50	P0 X P100	P0 X P150	P50 X P100	P50 X P150	P100 X P150	P0 X P50	P0 X P100	P0 X P150	P50 X P100	P50 X P150	P100 X P150
●DIFERENÇA	268,6	331	388	51	114,5	55,4	268,56	331	388,36	51	114	55,42
–LIMITE SUPERIOR	457	520	564	230	281	224	457	520	564	230	281	224
–LIMITE INFERIOR	85	151	206	-117	-66	-118	85	151	206	-117	-66	-117

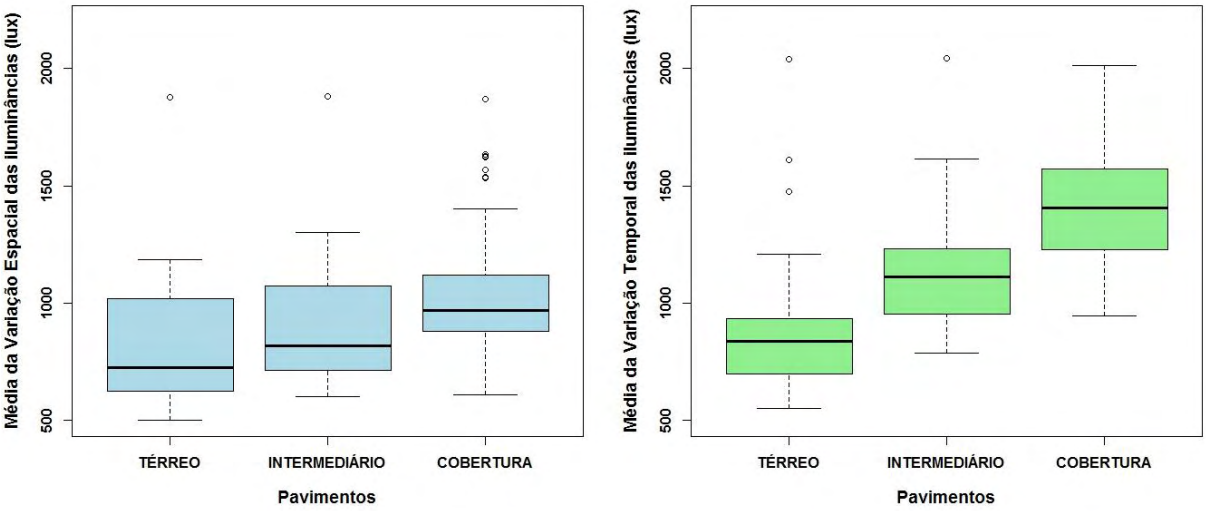
Fonte – Elaborado pela autora.

Tais resultados confirmaram a influência do grau de sombreamento dos edifícios adjacentes advindos das proteções como fator determinante para o aumento da uniformidade da luz natural nos ambientes internos, decorrente da diminuição dos planos de reflexão. Embora o elemento de proteção no entorno contribua para o aumento da uniformidade, é importante ressaltar que a variação das iluminâncias apresentou valores muito próximos, resultando em diferenças pouco significativas para as condições de fachadas sombreadas com 0,50m, 1,00m e 1,50m.

4.1.3. ALTURA DO PAVIMENTO

Os *boxplots* representados pela Figura 4.8 ilustram a distribuição das iluminâncias espaciais e temporais entre os pavimentos adotados na pesquisa. Foi possível perceber um crescimento gradual da variação das iluminâncias diretamente proporcional à altura do pavimento, evidenciado tanto pelas diferenças dos inter-quartis (caixas) como também pelos valores das medianas (medidas de tendência central).

Figura 4.8 - Média da variação espacial e temporal por pavimento – *boxplots*.



Fonte – Elaborado pela autora.

As variações mais expressivas, entre os pavimentos, ocorreram entre 600 a 2000 lux, sendo, nestas condições, mais provável a ocorrência de contrastes nos ambientes internos. Os ambientes localizados no pavimento Térreo obtiveram maior uniformidade das iluminâncias, sobretudo nos modelos inseridos em cenários com ocupação. A variabilidade

em 50% da amostra (caixa) atingiu média de desvios padrão entre 600 e 1000lux e 700 e 900lux em escala espacial e temporal, respectivamente.

A aplicação dos pressupostos de normalidade e de variância constante resultou na rejeição das hipóteses. Assim sendo, fez-se necessário aplicar o teste não paramétrico *Wilcoxon* a fim de realizar o comparativo entre as variações de iluminância, dadas as categorias de pavimento, conforme a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Resultado do teste de hipóteses – Pavimentos.

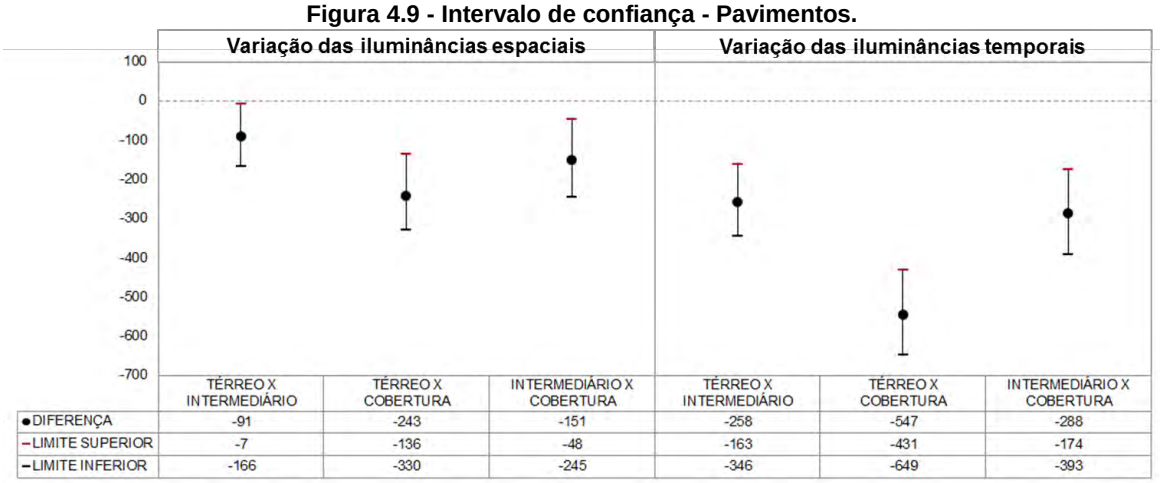
VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL					
PAVIMENTO	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
T X I	-91	-7	-166	0,03345	Rejeita a Ho
T X C	-243	-136	-330	0,0001588	Rejeita a Ho
I X C	-151	-48	-245	0,00542	Rejeita a Ho
VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAIS					
PAVIMENTO	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
T X I	-258	-163	-346	$3,435 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho
T X C	-547	-431	-649	$9,11 \times 10^{-11}$	Rejeita a Ho
I X C	-288	-174	-393	$1,904 \times 10^{-6}$	Rejeita a Ho

LEGENDA:
T – Térreo **I** – Intermediário (8º) **C** – Cobertura (15º) **Ho –** Hipótese nula

Fonte – Elaborado pela autora.

Para determinar a diferença entre a uniformidade por pavimento, foram combinadas as categorias, tendo como referência o andar Térreo. Similar a descrição dos gráficos de caixa, a hipótese de igualdade entre pavimentos também foi rejeitada pelo teste, resultando em valores de *p* menores que o nível de significância adotado (0,05). Em complemento, averiguou-se ainda as diferenças entre o Intermediário e a Cobertura. A Figura 4.9 ilustra os dados resultantes da Tabela 4.4.

Figura 4.9 - Intervalo de confiança - Pavimentos.



Fonte – Elaborado pela autora.

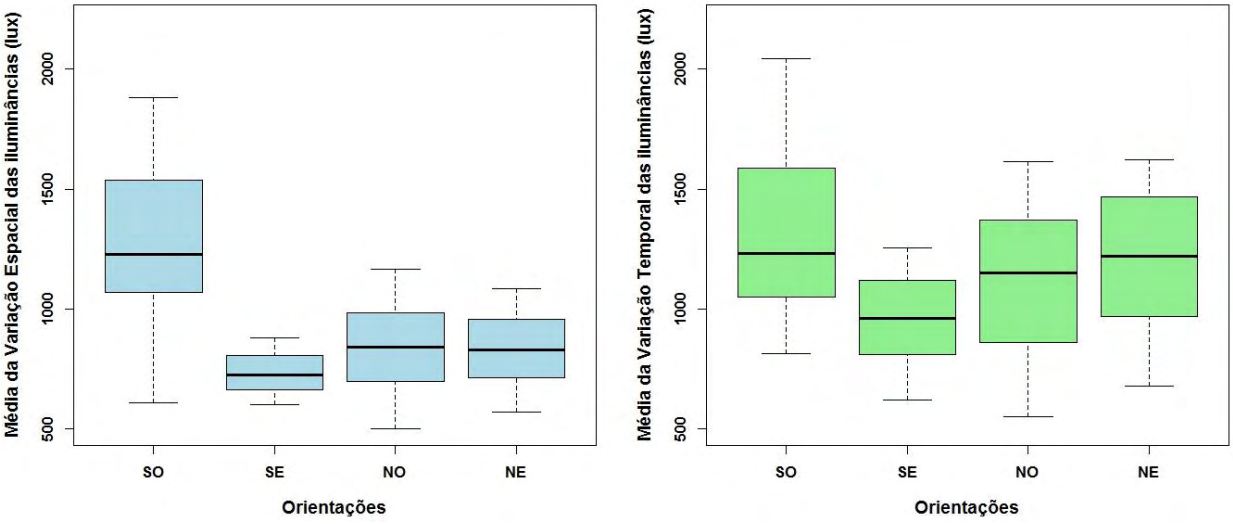
Quanto às estimativas entre as categorias, os valores negativos indicam que a categoria referência (Térreo) obteve menor variação, tendo a maior diferença para o pavimento Cobertura, chegando a reduzir 547 lux. Mesmo com a margem de erro em ±5%, o intervalo não atingiu valor nulo, evidenciando assim as diferenças entre os postos das amostras.

Constatou-se que o aumento gradual da variabilidade da iluminação natural ocorreu em decorrência, sobretudo, do grau de obstrução dos edifícios de entorno. Já para os ambientes do edifício inserido no cenário isolado (M2), em contrapartida, a variação das iluminâncias se manteve constante de forma que as categorias de pavimentos não influenciaram neste tipo de ocupação.

4.1.4. ORIENTAÇÃO

Considerando todos os cenários analisados, a categoria orientação foi isolada a fim de verificar tal variável. A Figura 4.10 apresenta os resultados referentes à variação espacial e temporal entre os ambientes presentes nas quatro orientações adotadas para a pesquisa. Semelhante às demais, a orientação também registrou maior variação das iluminâncias em escala temporal.

Figura 4.10 - Média da variação espacial e temporal por orientação – *boxplots*.



LEGENDA:
SO – Sudoeste **SE –** Sudeste **NO –** Noroeste **NE –** Nordeste

Fonte – Elaborado pela autora.

Observou-se, no entanto, que esta variável também provocou alteração da uniformidade dos ambientes internos, destacando-se a fachada Sudeste como a de menor variação. Diante das hipóteses, mais uma vez rejeitadas com a aplicação dos pressupostos de normalidade e de variância constante, sucedeu-se a utilização do teste de *Wilcoxon* para a variável orientação, de modo a comparar o comportamento das iluminâncias dentre as fachadas predominantes no recorte em estudo. Para tanto, tomou-se como categoria de referência a orientação Sudoeste (SO), sendo esta confrontada com as demais.

Ainda que claramente identificadas nos *boxplots*, a Tabela 4.5 ilustra a conclusão do teste e as diferenças estimadas entre as categorias. Observou-se que todas as orientações apresentaram diferenças significativas entre variações espaciais registradas na fachada referência (Sudoeste). Em escala temporal, apenas os ambientes situados na fachada Nordeste se equipararam com os da Sudoeste em nível de uniformidade.

Tabela 4.4 - Resultado do teste de hipóteses - Orientações.

VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL					
ORIENTAÇÃO	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
SO x SE	512	645	409	$4{,}61 \times 10^{-10}$	Rejeita a Ho
SO x NO	446	570	317	$2{,}124 \times 10^{-9}$	Rejeita a Ho
SO x NE	431	566	312	$8{,}481 \times 10^{-9}$	Rejeita a Ho
SE x NO	-89,93	-3	-197	0,4675	**Não rejeita a Ho**
SE x NE	-98	-22	-178	0,01729	Rejeita a Ho
NO x NE	2	100	-96	0,9528	**Não rejeita a Ho**
VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAIS					
ORIENTAÇÃO	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
SO x SE	329	512	170	8,141 x 10-5	Rejeita a Ho
SO x NO	215	414	14	0,03578	Rejeita a Ho
SO x NE	123	309	-61	0,1537	**Não rejeita a Ho**
SE x NO	-125	18	-309	0,09625	**Não rejeita a Ho**
SE x NE	-232	-89	-372	0,003418	Rejeita a Ho
NO x NE	-95	110	-250	0,3147	**Não rejeita a Ho**

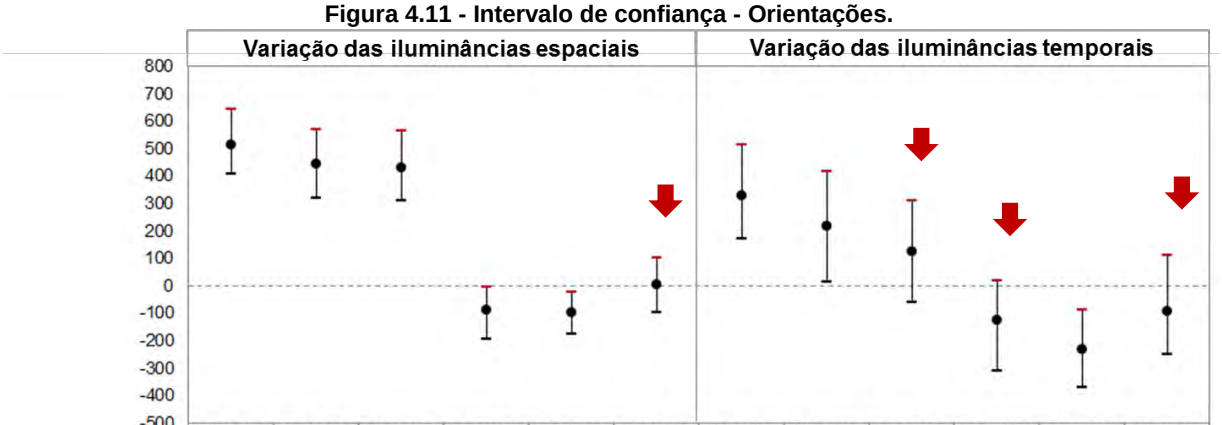
LEGENDA:
SO – Sudoeste
SE – Sudeste
NO – Noroeste
NE – Nordeste

Fonte – Elaborado pela autora.

Foram comparadas ainda as variações entre as demais orientações, destacando-se comportamentos distintos apenas para as distribuições das iluminâncias entre Sudeste (SE) e Nordeste (NE). De acordo com as estimativas, a fachada referência em relação a Sudeste atingiu maiores diferenças, chegando a 512 e 329 lux em escala espacial e temporal, respectivamente.

A Figura 4.11 expressa os resultados do teste de hipóteses aplicado, ilustrando as estimativas e sua precisão através do erro padrão em limite inferior e superior. Com base nas setas destacadas em vermelho, as evidências não apontaram distinção na variação das iluminâncias entre os ambientes presentes nas orientações comparadas (Variações das iluminâncias espaciais nas fachadas Noroeste e Nordeste; e variações das iluminâncias temporais nas fachadas Sudoeste e Nordeste; Sudeste e Noroeste; e Noroeste e Nordeste), uma vez que o valor zero se manteve incluso dentre as estimativas intervalares resultantes. Notou-se que o intervalo cujas diferenças estimadas resultaram em valores positivos, indicou maiores variações para categoria de referência, a exemplo da fachada Sudoeste

Figura 4.11 - Intervalo de confiança - Orientações.



	SO x SE	SO x NO	SO x NE	SE x NO	SE x NE	NO x NE	SO x SE	SO x NO	SO x NE	SE x NO	SE x NE	NO x NE
● DIFERENÇA	512	446	431	-89,93	-98	2	329	215	123	-125	-232	-95
– LIMITE SUPERIOR	645	570	566	-3	-22	100	512	414	309	18	-89	110
– LIMITE INFERIOR	409	317	312	-197	-178	-96	170	14	-61	-309	-372	-250

LEGENDA:
SO – Sudoeste **SE –** Sudeste **NO –** Noroeste **NE –** Nordeste

Fonte – Elaborado pela autora.

4.2. PERCENTUAL DE ÁREA ILUMINADA

No que tange o nível de iluminação, adotou-se como critério o percentual de área iluminada nos ambientes internos, cujos Iluminância Natural Útil (INU) atingiu valores superiores a 75% dentro da faixa autônoma de 300 a 3000lux. Semelhante à análise das distribuições das iluminâncias, foram aplicados testes estatísticos de normalidade (*Shapiro test*) e de análise de variância, sendo estes pressupostos rejeitados no que se refere à distribuição normal e à variância constante.

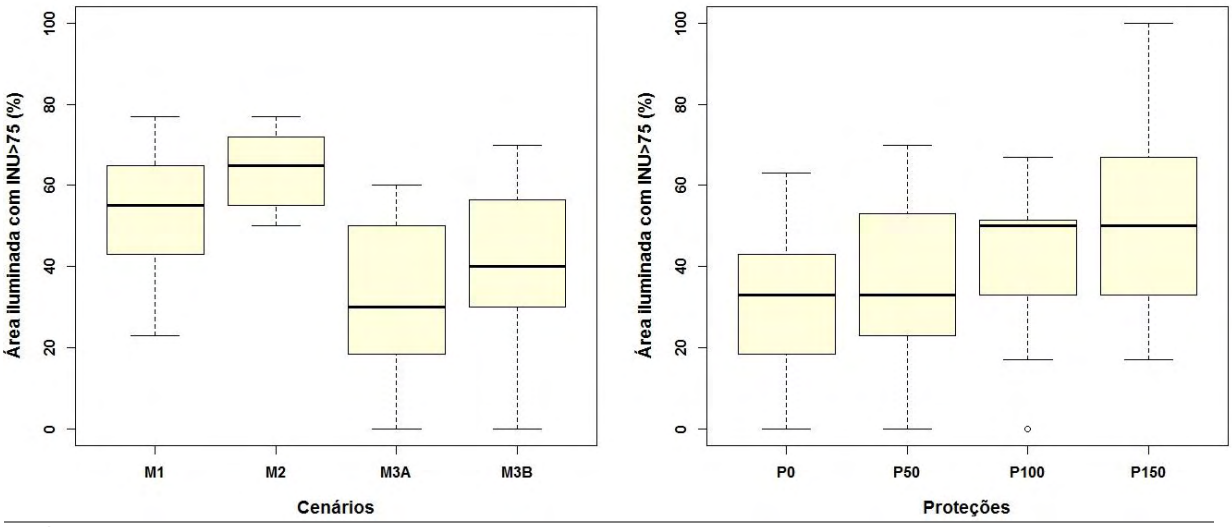
Inicialmente foram apresentadas as distribuições dos dados de área iluminada através de gráficos de caixa (*boxplots*). Na sequência, foram realizadas comparações entre as

variáveis de entorno bem como do edifício aplicando teste de hipóteses não paramétrico *Wilcoxon*. Como resultado, pode-se avaliar a magnitude das diferenças entres as categorias pareadas por meio do cálculo das diferenças estimadas e os intervalos de confiança com nível de confiabilidade de 95%. Nos tópicos a seguir são apresentados os resultados dos testes mencionados acima.

4.2.1. TIPO DE OCUPAÇÃO E DE PROTEÇÃO SOLAR

O comportamento das variáveis de entorno quanto ao nível de iluminação dentro da faixa útil (INU>75%) foi ilustrada na Figura 4.12, destacado por categorias quanto ao tipo de ocupação (cenários) e tipos de elementos de proteção solar adotado nas fachadas do entorno. Com a mudança de cenários, perceberam-se alterações nos percentuais de área iluminada dos ambientes internos, sendo mais expressivas no cenário Isolado (M2). Devido à ausência de fatores externos, tais ambientes atingiram desempenho lumínico satisfatório com margem entre 50 e 80% da sua área. Logicamente os que registraram valores mais baixos sofreram influência das obstruções (máxima ocupação), sobretudo nos cenários cujas fachadas apresentaram coeficiente de reflexão médio (M3A).

Figura 4.12 - Percentual de área iluminada – Cenários e Proteções das fachadas.



LEGENDA:

Cenários
M1 – Cenário Base
M2 – Cenário Isolado
M3A – Cenário de ocupação máxima com reflexão média
M3B – Cenário de ocupação máxima com reflexão de 90%

Proteções
P0 – Entorno sem proteção
P50 – Entorno com proteção de 0,50m
P100 – Entorno com proteção de 1,00m
P150 **– Entorno com proteção de 1,50m**

Fonte – Elaborado pela autora.

No que se refere ao grau de sombreamento do entorno, os elementos de proteção adotados também contribuíram significativamente para alterações dos níveis de iluminação do edifício de análise. Observou-se, no entanto, um crescimento gradativo das áreas iluminadas nos ambientes internos proporcional às dimensões dos dispositivos. Em especial, os ambientes do entorno com proteção de 1,50m (P150) evidenciaram maior influência.

Partindo para a aplicação do teste *Wilcoxon*, as comparações múltiplas rejeitaram a hipótese de igualdade dos níveis de iluminação entre as categorias de cenários e proteções, registrando valores *p* menores que o nível de significância (α=0,05).

Na Tabela 4.5, são apresentadas as conclusões dos testes, juntamente com as diferenças estimadas entre os pares comparados e a margem de erro descrita pelos limites inferiores e superiores.

Tabela 4.5 - Percentual de área iluminada com INU>75% - Cenários e proteções.

RESULTADO DO TESTE DE HIPÓTESES WILCOXON – CENÁRIOS					
CENÁRIOS	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
M1 X M2	-10,2	-0,65	-19,84	0,03846	Rejeita a Ho
M1 X M3A	21,5	28,76	14,23	$4,35 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho
M1 X M3B	13	19,46	6,53	0,001	Rejeita a Ho
M2 X M3A	31,7	43,69	19,81	0,0001	Rejeita a Ho
M2 X M3B	23,2	36,10	10,39	0,0021	Rejeita a Ho
M3A X M3B	-8,5	-3,97	-13,02	0,0016	Rejeita a Ho
RESULTADO DO TESTE DE HIPÓTESES WILCOXON – PROTEÇÕES					
PROTEÇÕES	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
P0 X P50	-3,6	-7,09	-0,15	0,0416	Rejeita a Ho
P0 X P100	-10,5	-4,34	-16,82	0,00189	Rejeita a Ho
P0 X P150	-19,9	-14,21	-25,62	$2,376 \times 10^{-7}$	Rejeita a Ho
P50 X P100	-6,9	-0,46	-13,45	0,03677	Rejeita a Ho
P50 X P150	-16,2	-9,73	-22,84	$3,29 \times 10^{-5}$	Rejeita a Ho
P100 X P150	-9,3	-1,35	-17,30	0,02378	Rejeita a Ho

LEGENDA:

Cenários
M1 – Cenário Base
M2 – Cenário Isolado
M3A – Cenário de ocupação máxima com reflexão média
M3B – Cenário de ocupação máxima com reflexão de 90%

Proteções
P0 – Entorno sem proteção
P50 – Entorno com proteção de 0,50m
P100 – Entorno com proteção de 1,00m
P150 **– Entorno com proteção de 1,50m**

Fonte – Elaborado pela autora.

Ao comparar o comportamento da iluminação dos ambientes do cenário Base (M1) com os do cenário Isolado, registrou-se um aumento em 10,25 pontos percentuais da área iluminada, confirmando assim a influência do entorno edificado na redução dos níveis de iluminação. Já os ambientes do edifício inserido em cenário de máxima ocupação sofreram redução nos percentuais quando comparados com os do cenário Atual/Base (M1). Para tanto, obteve-se uma redução na área iluminada em 21,5% e 13% nos ambientes influenciados

pelas fachadas com reflexão média e de 90%, respectivamente. Quando comparados apenas os modelos de máxima ocupação (M3A e M3B), o entorno com coeficiente de 90% (M3B) contribuiu para um aumento de área iluminada dos ambientes em 8,5%. Neste sentido, observou-se que tanto o grau de obstrução (tipo de ocupação) como o coeficiente de reflexão das fachadas de entorno (componente refletida externa) contribuiu para alterações no comportamento da iluminação dos ambientes internos.

Como já observado nos gráficos de caixa, os testes de hipóteses também confirmaram a influência do grau de sombreamento do entorno na iluminação dos ambientes internos. As diferenças dos níveis de iluminação entre os elementos de proteção foram quantificadas com indicativos de aumentos sucessivos das áreas iluminadas dos ambientes, quando comparados os cenários sem dispositivo (P0) e com as demais opções de proteção nas fachadas. Neste sentido, registraram-se acréscimos de 3,6%, 10,5% e 19,91% nas estimativas das áreas iluminadas quando adotados dispositivos de proteção com dimensão 0,50m, 1,00m e 1,50m, respectivamente.

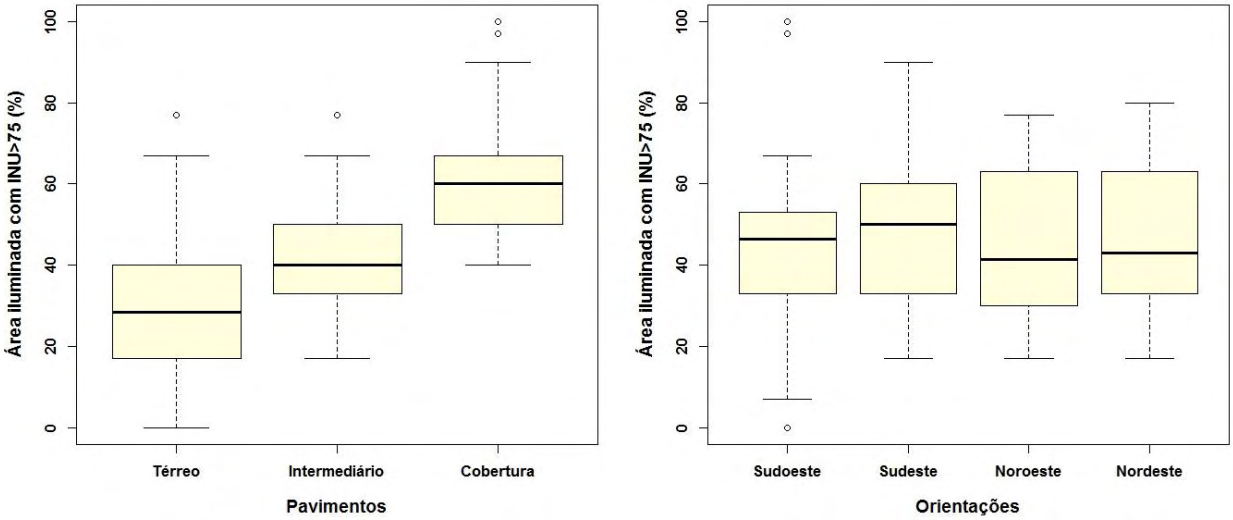
Diante dos resultados expostos neste tópico, constatou-se que as variáveis de entorno desempenharam papel fundamental nas alterações das áreas iluminadas nos ambientes internos, sobretudo na condição do edifício com interferências das obstruções dos edifícios vizinhos. Já o alto grau de sombreamento proveniente das fachadas dos edifícios não impediu a incidência da fonte natural, sendo este o fator determinante para o aumento dos percentuais de iluminação, principalmente nos pavimentos superiores.

4.2.2. ALTURA DO PAVIMENTO E ORIENTAÇÕES

Semelhante às mudanças nas configurações do entorno, as variáveis do edifício, representadas pelas categorias de pavimentos e orientações, também apresentaram resultados distintos no ponto de vista dos níveis de iluminação dos ambientes internos. As variações ocorreram em função, principalmente, das diferenças de altura dos pavimentos e dos diferentes padrões de obstrução do entorno em cada orientação. No entanto, os afastamentos do edifício de análise juntamente com os recuos dos edifícios vizinhos não foram determinantes para alterações dos percentuais de área iluminada nos ambientes internos.

Na Figura 4.13, foram ilustradas as distribuições dos dados percentuais de área iluminada com iluminância natural útil (INU) acima de 75% dos três pavimentos (Térreo, Intermediário e Cobertura) e das quatro orientações predominantes no bairro de Manaíra.

Figura 4.13 - Percentual de área iluminada – Pavimentos e Orientações.



Fonte – Elaborado pela autora.

No que tange a mudança de pavimento, o gráfico ilustra diferenças significativas claramente perceptíveis entre os percentuais de área iluminada dos ambientes localizados no andar Térreo, Intermediário e Cobertura. Em função das alturas, registrou-se um aumento proporcional dos níveis de iluminação, sendo os pavimentos inferiores os mais prejudicados diante das interferências do grau de obstrução. A variabilidade dos dados de área iluminada em 50% da amostra (caixa central) atingiu a faixa dos 20%, sendo os níveis da Cobertura entre 50 e 70% e o Térreo entre 20 e 40%.

De acordo com o teste de *Wilcoxon*, foram confirmadas as hipóteses de diferenças entre os níveis de iluminação dos pavimentos, em complemento as interpretações já expostas através do gráfico de caixa. De fato, as diferenças percentuais estimadas entre o pavimento mais baixo (Térreo) para os mais altos chegaram a aproximadamente –13% e –32% de área iluminada. Já no pavimento Intermediário, a diferença registrada passou dos 19 pontos percentuais de redução em área iluminada em relação à Cobertura. Os valores obtidos através do teste e da análise dos gráficos foram coerentes e confirmaram estatisticamente o que já foi afirmado empiricamente (Tabela 4.6).

Além dos três pavimentos, a outra condicionante que influiu na alteração dos níveis lumínicos dos espaços internos foi a orientação. Para tal variável, a distribuição dos dados de área iluminada apontou diferenças pouco visíveis sob o ponto de vista das fachadas do edifício

de análise, predominantes no bairro de Manaíra. É possível afirmar que dentro da amostra analisada, os ambientes da fachada Sudoeste (SO) configuraram comportamentos mais atípicos com menor variabilidade e menores percentuais, alcançando valores entre 30 e 50% de área iluminada. Analisando as demais orientações, verificou-se que os percentuais atingiram faixas entre 30 e 65%, com distribuições similares nas fachadas Noroeste e Nordeste, não apenas pela medida de tendência central – mediana (40%), mas também pelos valores mínimos e máximos encontrados (20 e 70%).

Tabela 4.6 - Percentual de área iluminada com INU>75% - Pavimentos e orientações.

RESULTADO DO TESTE DE HIPÓTESES WILCOXON – PAVIMENTOS					
PAVIMENTOS	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
T X I	-13,10	-20,233	-5,966	0,0004738	Rejeita a Ho
T X C	-32,425	-39,61	-25,23	$1,876 \times 10^{-13}$	Rejeita a Ho
I X C	-19,325	-25,50	-13,14	$2,263 \times 10^{-8}$	Rejeita a Ho
RESULTADO DO TESTE DE HIPÓTESES WILCOXON – ORIENTAÇÕES					
ORIENTAÇÕES	**ESTIMATIVA DA DIFERENÇA**	**LIMITE SUPERIOR**	**LIMITE INFERIOR**	**VALOR P**	**CONCLUSÃO DO TESTE**
SO x SE	-6,267	-0,664	-11,86	0,02963	Rejeita a Ho
SO x NO	-3,63	3,847	-11,11	0,328	**Não rejeita a Ho**
SO x NE	-4,1	1,06	-9,263	0,115	**Não rejeita a Ho**
SE x NO	2,633	6,25	-0,991	0,1481	**Não rejeita a Ho**
SE x NE	2,167	4,75	-0,426	0,09811	**Não rejeita a Ho**
NO x NE	-0,466	3,342	-4,275	0,8039	**Não rejeita a Ho**
LEGENDA					
Pavimentos:	**T** – Térreo	**I** – Intermediário (8º)	**C** – Cobertura (15º)		
Orientações:	**SO –** Sudoeste	**SE –** Sudeste	**NO –** Noroeste	**NE –** Nordeste	

Fonte – Elaborado pela autora.

Através do teste de comparação entre as orientações (*Wilcoxon*), verificou-se que as categorias desta variável, em sua maioria, não possuem diferenças estatisticamente significativas. Diante da margem de erro de ±5%, os intervalos de confiança para os comparativos incluíram o valor zero como uma das estimativas da diferença. Sob esta condição e em complemento aos valores p maiores que o nível de significância, conclui-se que as orientações Sudoeste, Noroeste e Nordeste apresentaram grandes chances de igualdade, considerando os quatro tipos de cenário da pesquisa. No entanto, a fachada Sudoeste e Sudeste rejeitaram tal hipótese por apresentar padrões de obstrução distintos, sendo estas as únicas com registro de aproximadamente 6% de diferença entre as áreas iluminadas.

Dentre as variáveis do edifício analisadas, observamos que as categorias de pavimentos desempenharam maior influência nas alterações dos níveis de iluminação dos ambientes internos, sendo a variável orientação pouco relevante na análise quantitativa se

diagnosticada separadamente. Para tanto, faz-se necessária uma análise em conjunto com as categorias de entorno, de modo a averiguar qual a condição de cenário que mais favorece ao aumento dos percentuais de área iluminada nas orientações predominantes do bairro.

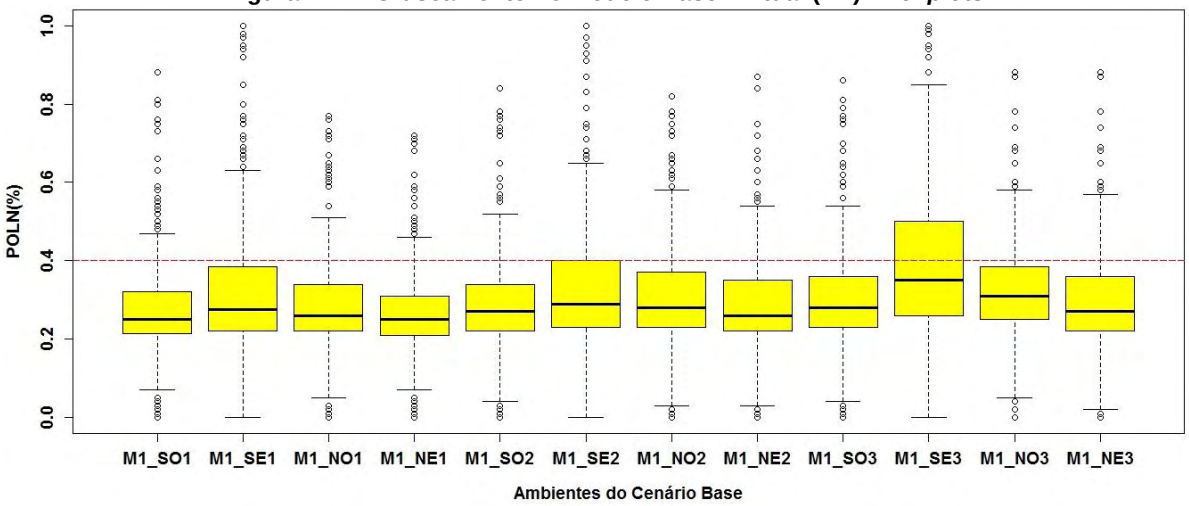
4.3. PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO DA LUZ NATURAL (POLN)

De posse dos dados horários extraídos da simulação no *Evalglare*, procedeu-se a análise exploratória do ofuscamento da luz natural em função das variáveis de entorno e do edifício. Através dos *boxplots* ilustrados nos gráficos abaixo, obteve-se um panorama das distribuições dos dados, demostrando, em sua maioria, comportamentos assimétricos. Adicionalmente, consideraram-se ainda as diferenças entre os índices máximos e mínimos da probabilidade de ofuscamento (POLN), expressos nas extremidades dos gráficos de caixa.

Além destes, também foram identificadas observações que se afastaram do padrão geral dos dados, definidos como *outlier* ou valores discrepantes, dispostos com mais frequência na posição superior da caixa. Os pontos posicionados abaixo da parte inferior dos gráficos corresponderam aos níveis medidos nos sensores mais afastado das aberturas nos períodos de maior contraste entre o ambiente interno e externo, sobretudo no início da manhã e final da tarde. Já os registrados acima do valor máximo, os *outliers* superiores, foram mais frequentes nos pontos de medição próximos as aberturas, áreas de maior visibilidade do espaço externo, principalmente nos horários próximos ao meio-dia. Estas observações atípicas foram equivalentes a aproximadamente 2% da amostra, sendo as mesmas pouco relevantes diante do número considerável de dados coletados. A seguir, foi apresentada a distribuição dos dados gerais de ofuscamento resultante em cada modelo de cenário, levando em consideração apenas a variação das características do edifício referente às quatro orientações predominantes no Bairro de Manaíra, bem como aos três pavimentos propostos para análise.

Primeiramente, no Modelo Base (Figura 4.14), perceberam-se poucas diferenças entre o Térreo e o Intermediário. Já a substituição dos mencionados pavimentos pela Cobertura não apresentou as mesmas características. Notou-se ainda que 75% das amostras apresentou valores de POLN abaixo de 0,40, exceto para o ambiente na fachada Sudeste-Cobertura (M1_SE3). Para a mencionada orientação, o gráfico demonstrou ainda que 50% (caixa central) dos dados varia entre 0,25 e 0,55 e 25%, e conforme representado no 3º quartil, atingiu valores que se enquadram na faixa ofuscamento intolerável.

Figura 4.14 - Ofuscamento no Modelo Base – Atual (M1) - *Boxplots*.

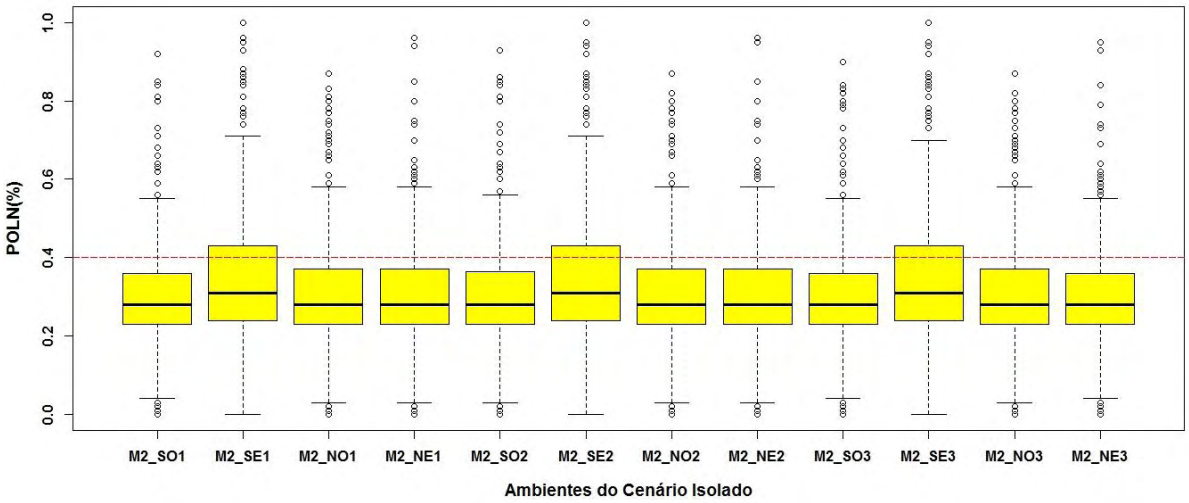


LEGENDA:

M1_NE1 – Orientação Nordeste e pavimento Térreo;
M1_NE2 – Orientação Nordeste e pavimento Intermediário;
M1_NE3 – Orientação Nordeste e pavimento Cobertura;
M1_NO1 – Orientação Noroeste e pavimento Térreo;
M1_NO2 – Orientação Noroeste e pavimento Intermediário;
M1_NO3 – Orientação Noroeste e pavimento Cobertura;
M1_SE1 – Orientação Sudeste e pavimento Térreo;
M1_SE2 – Orientação Sudeste e pavimento Intermediário;
M1_SE3 – Orientação Sudeste e pavimento Cobertura;
M1_SO1 – Orientação Sudoeste e pavimento Térreo;
M1_SO2 – Orientação Sudoeste e pavimento Intermediário;
M1_SO3 – Orientação Sudoeste e pavimento Cobertura;

Fonte – Elaborado pela autora.

Figura 4.15 - Ofuscamento no Modelo Isolado (M2) - Boxplots.



LEGENDA:

M2_NE1 – Orientação Nordeste e pavimento Térreo;
M2_NE2 – Orientação Nordeste e pavimento Intermediário;
M2_NE3 – Orientação Nordeste e pavimento Cobertura;
M2_NO1 – Orientação Noroeste e pavimento Térreo;
M2_NO2 – Orientação Noroeste e pavimento Intermediário;
M2_NO3 – Orientação Noroeste e pavimento Cobertura;
M2_SE1 – Orientação Sudeste e pavimento Térreo;
M2_SE2 – Orientação Sudeste e pavimento Intermediário;
M2_SE3 – Orientação Sudeste e pavimento Cobertura;
M2_SO1 – Orientação Sudoeste e pavimento Térreo;
M2_SO2 – Orientação Sudoeste e pavimento Intermediário;
M2_SO3 – Orientação Sudoeste e pavimento Cobertura;

Fonte – Elaborado pela autora.

Diferentemente do cenário atual, o Modelo Isolado (Figura 4.15) apresentou distribuição dos dados semelhantes nas orientações de todos os pavimentos, com resultados mais representativos na fachada Sudeste. Para os ambientes inseridos na orientação citada, os valores máximos atingiram a faixa entre 0,40 e 0,80, e apesar de classificados acima da condição desconfortável, obtiveram menor número de dados de ofuscamento intolerável que

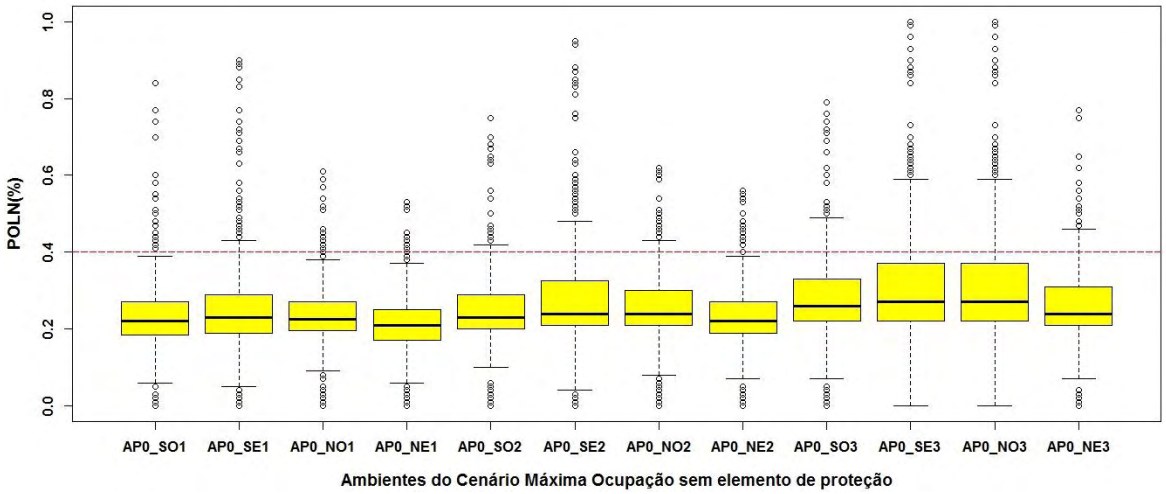
o Modelo Base. Os demais ambientes não sofreram variações significativas quando confrontadas com os resultados do cenário atual.

As diferenças decorrentes da mudança de cenário provaram que o tipo de ocupação representou uma influência no aumento da ocorrência de ofuscamento. Para o edifício inserido no cenário com configuração atual do Bairro de Manaíra, os valores de POLN alcançaram níveis mais expressivos, obtendo ainda distinções quanto às orientações. As reflexões do entorno aliadas a componente direta da luz solar se mostraram como fatores de grande representatividade ao assinalar os resultados do Modelo Base e Isolado.

Os gráficos que seguem demonstram a distribuição dos dados de ofuscamento referente aos modelos de ocupação máxima, as quais sofreram variações quanto ao entorno através dos coeficientes de reflexão das superfícies verticais (médio e máximo), e ao dispositivo de proteção solar. Para esta análise, foram consideradas apenas as condições extremas de sombreamento, sem proteção e com elemento de dimensão 1,50m por toda extensão da lâmina. Os demais cenários foram representados em *boxplots*, ilustrados no Apêndice 05.

A Figura 4.16 ilustra o comportamento dos modelos com influência do entorno de máxima ocupação com edifícios de reflexão média e sem interferência de elemento de proteção. A princípio, a modificação da configuração do cenário para o limite máximo de ocupação contribuiu para a redução dos valores máximos, sobretudo na fachada com índices de ofuscamento mais elevados – Sudeste.

Figura 4.16 - Ofuscamento no Modelo Ocupação Máxima 60% - Sem proteção (M3_AP0) - *Boxplots*.



LEGENDA:

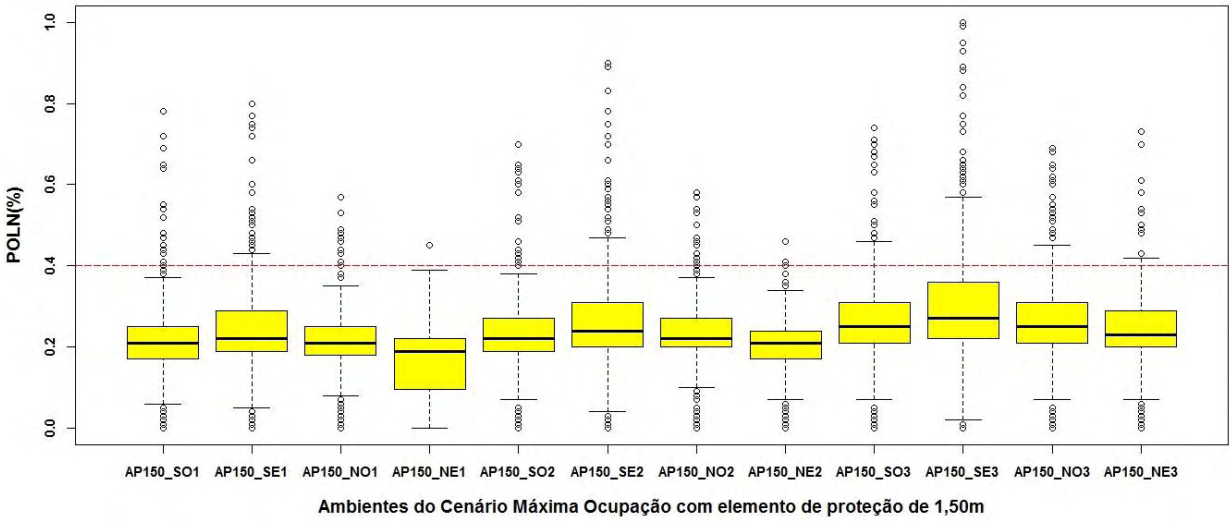
AP0_NE1 – Orientação Nordeste e pavimento Térreo;
AP0_NE2 – Orientação Nordeste e pavimento Intermediário;
AP0_NE3 – Orientação Nordeste e pavimento Cobertura;
AP0_NO1 – Orientação Noroeste e pavimento Térreo;
AP0_NO2 – Orientação Noroeste e pavimento Intermediário;
AP0_NO3 – Orientação Noroeste e pavimento Cobertura;
AP0_SE1 – Orientação Sudeste e pavimento Térreo;
AP0_SE2 – Orientação Sudeste e pavimento Intermediário;
AP0_SE3 – Orientação Sudeste e pavimento Cobertura;
AP0_SO1 – Orientação Sudoeste e pavimento Térreo;
AP0_SO2 – Orientação Sudoeste e pavimento Intermediário;
AP0_SO3 – Orientação Sudoeste e pavimento Cobertura;

Fonte – Elaborado pela autora.

Em especial, o ambiente inserido na orientação Noroeste Cobertura (M3_AP0_NO3) apresentou o mesmo comportamento da fachada Sudeste. Em virtude do adensamento e do grau de obstrução para este cenário, os dados resultantes de ofuscamento nos ambientes internos foram justificados com base na componente refletida das fachadas.

Conforme ilustra a Figura 4.17, ao adicionar dispositivo de proteção de 1,50m nos edifícios do Modelo M3A (Ocupação máxima com reflexão de 60%), as alterações no índice de ofuscamento se mostraram pouco aparentes. No entanto, os valores máximos sofreram redução com a mudança entre as categorias mais extremas de proteção (P0 e P150), em especial no pavimento Térreo. Para as duas condições de sombreamento, a classificação de ofuscamento atingiu valores abaixo da escala perceptível (POLN>0,40) em mais de 75% dos dados registrados nos modelos, definidos abaixo da linha vermelha no gráfico.

Figura 4.17 – Ofuscamento no Modelo Ocupação Máxima 60% - Proteção 1,50m (M3_AP150).



LEGENDA:
AP150_NE1–Orientação Nordeste e pavimento Térreo;
AP150_NE2–Orientação Nordeste e pavimento Intermediário;
AP150_NE3–Orientação Nordeste e pavimento Cobertura;
AP150_NO1–Orientação Noroeste e pavimento Térreo;
AP150_NO2–Orientação Noroeste e pavimento Intermediário;
AP150_NO3–Orientação Noroeste e pavimento Cobertura;
AP150_SE1–Orientação Sudeste e pavimento Térreo;
AP150_SE2–Orientação Sudeste e pavimento Intermediário;
AP150_SE3–Orientação Sudeste e pavimento Cobertura;
AP150_SO1–Orientação Sudoeste e pavimento Térreo;
AP150_SO2–Orientação Sudoeste e pavimento Intermediário;
AP150_SO3–Orientação Sudoeste e pavimento Cobertura;

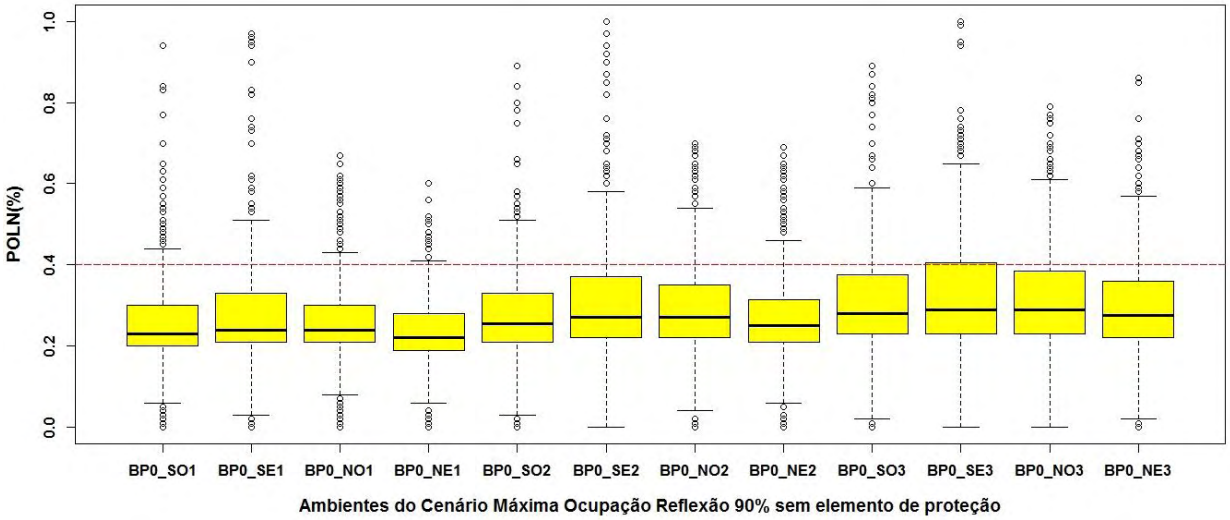
Fonte – Elaborado pela autora.

O sombreamento proveniente do entorno desempenhou pouca influência nos ambientes inseridos na Cobertura, uma vez que este pavimento se assemelha a uma condição de entorno pouco obstruído. De fato, os ângulos de obstruções e o percentual de área sombreada reduziram a probabilidade de ofuscamento de forma mais significativa nos pavimentos mais baixos.

As distribuições dos dados de POLN para cenário M3B (Ocupação máxima com reflexão 90%) foram ilustradas nas Figuras 4.18 e 4.19. Dentre os níveis de ofuscamento, os

valores máximos ultrapassaram a faixa perceptível registrada abaixo da linha vermelha no gráfico (POLN>0,40), evidenciando a influência da reflexão das superfícies verticais na ocorrência de desconforto visual.

Figura 4.18 – Ofuscamento no Modelo Ocupação Máxima 90% - Sem proteção (M3_BP0).

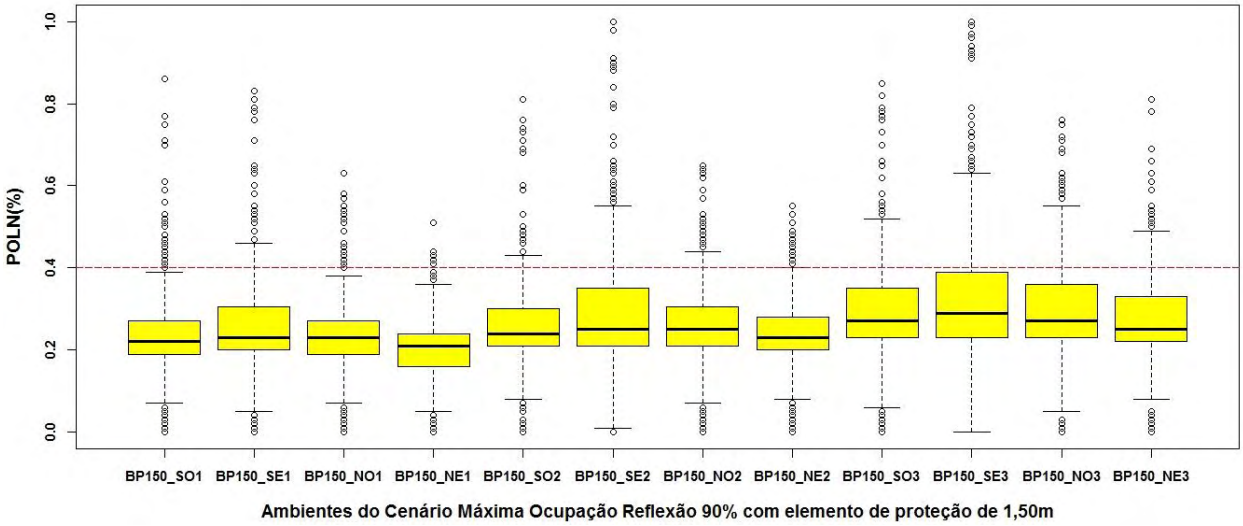


LEGENDA:

BP0_NE1 – Orientação Nordeste e pavimento Térreo;
BP0_NE2 – Orientação Nordeste e pavimento Intermediário;
BP0_NE3 – Orientação Nordeste e pavimento Cobertura;
BP0_NO1 – Orientação Noroeste e pavimento Térreo;
BP0_NO2 – Orientação Noroeste e pavimento Intermediário;
BP0_NO3 – Orientação Noroeste e pavimento Cobertura;
BP0_SE1 – Orientação Sudeste e pavimento Térreo;
BP0_SE2 – Orientação Sudeste e pavimento Intermediário;
BP0_SE3 – Orientação Sudeste e pavimento Cobertura;
BP0_SO1 – Orientação Sudoeste e pavimento Térreo;
BP0_SO2 – Orientação Sudoeste e pavimento Intermediário;
BP0_SO3 – Orientação Sudoeste e pavimento Cobertura;

Fonte – Elaborado pela autora.

Figura 4.19 - Ofuscamento no Modelo Ocupação Máxima 90% - Proteção 1,50m (M3_BP150) - *Boxplots*.



LEGENDA:

BP150_NE1–Orientação Nordeste e pavimento Térreo;
BP150_NE2–Orientação Nordeste e pavimento Intermediário;
BP150_NE3–Orientação Nordeste e pavimento Cobertura;
BP150_NO1–Orientação Noroeste e pavimento Térreo;
BP150_NO2–Orientação Noroeste e pavimento Intermediário;
BP150_NO3–Orientação Noroeste e pavimento Cobertura;
BP150_SE1–Orientação Sudeste e pavimento Térreo;
BP150_SE2–Orientação Sudeste e pavimento Intermediário;
BP150_SE3–Orientação Sudeste e pavimento Cobertura;
BP150_SO1–Orientação Sudoeste e pavimento Térreo;
BP150_SO2–Orientação Sudoeste e pavimento Intermediário;
BP150_SO3–Orientação Sudoeste e pavimento Cobertura;

Fonte – Elaborado pela autora.

Quanto à mudança de pavimento, a tendência de crescimento dos níveis de ofuscamento foi gradativa entre os andares mais baixos e a Cobertura. Fato recorrente dentre os modelos descritos anteriormente apontou que os ambientes posicionados na fachada Sudeste apresentaram índices máximos na faixa de ofuscamento intolerável. Em contrapartida, a orientação Nordeste, para este modelo de cenário, atingiu o melhor desempenho quanto aos níveis de conforto visual, com exceção da Cobertura (NE3). É importante frisar ainda que a área de aberturas dos ambientes internos é constante para todas as fachadas.

Da mesma forma que ocorreu com o cenário de reflexão média (M3A), a adição do dispositivo de proteção de 1,50m no entorno com reflexão máxima (M3B) repercutiu na redução do ofuscamentos. Apesar disso, a variável sombreamento se tornou fator irrelevante para a fachada Sudeste, uma vez que, ainda nestas condições, esta orientação obteve maior ocorrência de ofuscamento. Os resultados dos modelos M3B_P150 (Ocupação máxima com reflexão 90% e proteção de 1,50m) foram ilustrados no Gráfico 3.20.

Ao comparar os resultados dos cenários com variação nas reflexões, verificou-se que a predominância das cores claras no entorno, como esperado, gera aumento nos índices de ofuscamento em todos os modelos. Neste sentido, a presença de dispositivos sombreamento nas fachadas dos edifícios vizinhos desempenham papel fundamental na redução dos índices de desconforto visual nos ambientes do edifício de análise.

4.3.1. VARIÁVEIS DE ENTORNO

Neste tópico são apresentados os modelos de regressão logística resultantes da variação do tipo de ocupação (cenários Base, Isolado e Ocupação Máxima), bem como as alterações das fachadas quanto a adoção de dispositivo de proteção solar e ao coeficiente de reflexão, consideradas as variáveis do entorno. Além disso, foram indicadas as razões que explicam a natureza das relações entre tais condições de entorno com a variável resposta – índices de desconforto visual – nos ambientes internos.

De acordo com o resultado dos testes Qui-quadrado de *Pearson* (Tabela 4.7), o grau de associação das variáveis independentes (tipo de ocupação e proteção) foi confirmado, se mostrando altamente correlacionadas e de influência significativa na ocorrência de ofuscamento. A conclusão do teste foi feita mediante descrição do *p-value* ao registrar valores

abaixo do nível de significância adotado na pesquisa (α=0,05), recusando assim a hipótese nula. Cada categoria foi avaliada separadamente, com o propósito de compreender a influência destas mudanças de cenário na ocorrência de ofuscamento.

Tabela 4.7 - Teste Qui-quadrado de Pearson (X²) – Variáveis de entorno.

	X-squared	Df	p-value	Resultado do teste
Tipo de ocupação	945,6809	3	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
Proteção	92,3046	3	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

Ho – Hipótese nula – condição de associação entre as variáveis independentes e a dependente.

Fonte – Elaborado pela autora.

4.3.2.1. TIPO DE OCUPAÇÃO DO ENTORNO

Analisada a validade estatística a partir do teste de independência, o modelo logístico foi construído considerando os tipos de ocupação do entorno e coeficiente de reflexão das fachadas. A Tabela 4.8 contém os valores das estimativas dos coeficientes, bem como o resultado do teste de *Wald* referente à significância dos mesmos. Como se tratou de um modelo de regressão múltiplo, foi atribuída uma categoria de referência dentre as variáveis independentes, sendo a configuração atual do bairro de Manaíra (Modelo Base – M1) escolhida para comparação com as demais.

Tabela 4.8 - Modelo logístico – Tipo de ocupação.

Coefficients	Estimate	Pr(>|z|)	Resultado do teste	*Odd Ratio* (Razão da chance)	
(Intercept)	-1,420391	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,2416195	Redução em 76%
M2	0,132585	0,0036	Rejeita a Ho	1,1417759	Aumento em 14%
M3A	-0,865280	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,4209338	Redução em 58%
M3B	-0,406624	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,6658948	Redução em 34%
Hora	0,081302	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,0846986	Aumento em 8,4%

LEGENDA:
M2 – Modelo Isolado
M3A – Modelo de Ocupação Máxima com reflexão de 60%
M3B – Modelo de Ocupação Máxima com reflexão de 90%

Fonte – Elaborado pela autora.

Mediante resultado das estimativas, observou-se redução na probabilidade de ofuscamento dos ambientes internos quando relacionados os modelos Base (M1) com os de ocupação máxima (M3A e M3B), e um aumento no Modelo Isolado (M2). Em função destes

coeficientes, o modelo logístico para a variável tipo de ocupação e reflexão das fachadas foi expresso na Equação 4.1 que segue:

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -1{,}42 + 0{,}13.M2 - 0{,}86.M3A - 0{,}40.M3B + 0{,}08.Hora \quad \text{(Equação 4.1)}$$

Em complemento às estimativas, foram definidos os percentuais de chance decorrentes da mudança da categoria de referência para as demais variáveis do entorno, o que permitiu concluir que o ofuscamento foi bem explicado em combinação com os tipos de ocupação. Através dos comparativos entre o cenário Atual (Base), as chances de ocorrer ofuscamento aumentaram em 14% nos ambientes do edifício sem interferência do entorno (Isolado). Além da ausência de fatores externos, os níveis de iluminação e principalmente a variação das iluminâncias espaciais e temporais intensificaram os níveis de contraste, levando ao aumento das condições de desconforto visual para os espaços internos deste cenário.

Por outro lado, as chances do ofuscamento reduziram em 58% e 34% nos cenários que sofreram influência do alto grau de obstrução quando comparadas ao ofuscamento em condição de ocupação atual – Base. Nos cenários de máxima ocupação, esta diferença ocorreu em função dos dois coeficientes de reflexão adotados, tendo melhor desempenho na qualidade visual para o edifício cujo entorno apresentou fachadas com a refletividade média calculada.

A análise sobre as chances de ofuscamento indicou ainda que, quanto mais obstruído o cenário e quanto menor o coeficiente de reflexão das fachadas, menor a probabilidade de ofuscamento da luz natural. Tal desconforto também pode ser ocasionado pelas diferenças significativas entre as luminâncias internas e externas levando ao aumento do contraste. Com efeito, constatou-se que a obstrução aliada à variação de coeficiente de reflexão desempenharam papel fundamental no ofuscamento, afetando consideravelmente na redução do mesmo nos ambientes internos.

4.3.2.2. TIPO DE PROTEÇÃO SOLAR

Para a regressão logística referente aos tipos de proteção do entorno, foi necessária a construção de dois modelos, adotando o entorno sem sombreamento (P0) como categoria de referência. No primeiro modelo, a estatística de *Wald* apontou semelhanças entre o

comportamento do cenário sem proteção (P0) e com o obstruído pelas proteções de 0,50m (P50). Em função deste resultado, foi elaborado um modelo simplificado, agrupando os dados referentes à categoria de proteção P50 com a de referência P0, concluindo com a hipótese nula rejeitada.

Os modelos logísticos foram ilustrados na Tabela 4.9. De acordo com os dados do modelo simplificado, as estimativas dos coeficientes registraram valores negativos, revelando uma redução na ocorrência de ofuscamento da luz natural nos ambientes internos mediante mudança de elementos de proteção nas fachadas do entorno.

Tabela 4.9 - Modelo logístico – Proteção.

Modelo logístico					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**			**Resultado do teste**
(Intercept)	-1,852770	$<2 \times 10^{-16}$			Rejeita a Ho
P50	-0,068647	**0,0627**			**Não rejeita a Ho**
P100	-0,216223	$1,03 \times 10^{-8}$			Rejeita a Ho
P150	-0,340260	$<2 \times 10^{-16}$			Rejeita a Ho
Hora	0,076159	$<2 \times 10^{-16}$			Rejeita a Ho
Modelo logístico simplificado					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**	**Resultado do teste**	***Odd Ratio* (Razão da chance)**	
(Intercept)	-1,886696	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,151518	Redução em 76%
P100	-0,182242	$3,88 \times 10^{-8}$	Rejeita a Ho	0,8333999	Redução em 17%
P150	-0,306279	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,7361813	Redução em 27%
Hora	0,076152	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,0791262	Aumento em 7,9%

LEGENDA:
P0 – Entorno sem proteção nas fachadas; P50 – Entorno com proteção de 0,50 nas fachadas;
P100 – Entorno com proteção de 1,00 nas fachadas; P150 – Entorno com proteção de 1,50 nas fachadas.

Fonte – Elaborado pela autora.

A equação para análise do ofuscamento nos edifícios inseridos em cenários com sombreamento no entorno foi expressa na Equação 4.2.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -2{,}88 + 0{,}39.SE - 0{,}33.NE + 0{,}57.I + 0{,}97.C + 0{,}07.Hora \quad \text{(Equação 4.2)}$$

Com os dados obtidos dos testes, *Odds ratio,* a diminuição prevista nas estimativas foram confirmadas, embora, os índices de ofuscamento obtidos com o cenário sem proteção (P0) sejam equivalentes ao de proteção 0,50m (P50). Já na condição de entorno com proteção 1,00m (P100) e 1,50 (P150), as chances de ocorrências de desconforto visual são reduzidas em 17% e 27%, respectivamente, quando comparadas ao modelo P0 e P50. O modelo logístico aliado à razão das chances revelou que o grau de obstrução proveniente dos elementos de proteção do entorno desempenha papel fundamental na redução da

probabilidade de ofuscamento, sendo esta condição proporcional ao aumento do dispositivo ou do sombreamento das fachadas do entorno.

Dentre as variáveis de entorno avaliadas, notou-se que os índices de ofuscamento foram mais evidentes com as mudanças de cenário e de coeficiente de reflexão das fachadas do que com os diferentes dispositivos de proteção adotados na pesquisa. Em especial, para análise da variável proteção, foram investigadas apenas as condições de máxima ocupação. Constatou-se ainda que, apesar das proteções interferirem na distribuição das iluminâncias, os níveis de iluminação foram mais determinantes para o aumento das condições de ofuscamento nos ambientes internos.

4.3.2. VARIÁVEIS DO EDIFÍCIO

Os modelos de regressão logística resultantes das variáveis do edifício inseridos nos cenários Base, Isolado e Ocupação Máxima serão apresentados a seguir, juntamente com as razões da chance que explicam a probabilidade das relações entre a orientação e o pavimento com a variável resposta ofuscamento.

De acordo com a Tabela 4.10, foram realizados testes de hipóteses Qui-quadrado de *Pearson* a fim de avaliar o grau de associação entre as variáveis do edifício para cada modelo e a ocorrência de ofuscamento. Em sua maioria, os resultados rejeitaram a hipótese de teste, confirmando que as variáveis do edifício, orientação e pavimento, influenciam nos índices de ofuscamento independente do tipo de ocupação, exceto para o cenário Isolado (M2) nas categorias Térreo, Intermediário e Cobertura.

Tabela 4.10 - Teste Qui-quadrado De Pearson (X^2) – Variáveis do edifício.

Tipo de Cenário	Variável do edifício	X-squared	df	p-value	Resultado
Modelo Base – Atual (M1)	**Pavimento**	31.7673	2	1.264×10^{-7}	Rejeita a Ho
	Orientação	104.073	3	$< 2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
Modelo Isolado (M2)	**Pavimento**	0.0654	2	0.9678	**Não rejeita a Ho**
	Orientação	56.5381	3	$<3,225 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho
Modelo Máxima 60% (M3A)	**Pavimento**	297,0425	2	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
	Orientação	224,0664	3	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
Modelo Máxima 90% (M3B)	**Pavimento**	316,462	2	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho
	Orientação	144,4235	3	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho

Fonte – Elaborado pela autora.

Em virtude da ausência de entorno, a variável pavimento, especificamente na análise do modelo Isolado, apresentou diferenças pouco significativas. Por se tratar de uma variável

que não interfere nas chances de ocorrer ofuscamento, foi eliminada do modelo, considerando apenas a orientação. Partindo desta condição, os modelos logísticos para os demais cenários foram determinados, avaliando como categorias de referência a orientação Sudoeste (SO) e o pavimento Térreo (T).

A Tabela 4.11 ilustra o modelo de regressão para o Cenário Base. A coluna intitulada *Estimate* correspondeu aos valores dos coeficientes logísticos e a coluna *Pr(>|z|)* ao resultado do teste de hipótese de *Wald* mediante avaliação do grau de significância de cada coeficiente das variáveis, incluindo a constante ou intercepto. Com o resultado do teste de Wald, as orientações Noroeste e Nordeste apresentaram valores p maiores que o nível de significância adotado (α=0,05), não rejeitando a hipótese dos coeficientes serem significativamente iguais a 0.

Tabela 4.11 - Modelo logístico – Cenário Base (M1).

Modelo logístico					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**			**Resultado do teste**
(Intercept)	-2.69872	$<2,2 \times 10^{-16}$			Rejeita a Ho
Sudeste (SE)	0.80998	3.78×10^{-14}			Rejeita a Ho
Noroeste (NO)	0.17759	**0.1221**			**Não rejeita a Ho**
Nordeste (NE)	-0.18582	**0.1282**			**Não rejeita a Ho**
Intermediário (I)	0.25022	0.0126			Rejeita a Ho
Cobertura (C)	0.54799	1.51e-08			Rejeita a Ho
Hora	0.09782	$<2,2 \times 10^{-16}$			Rejeita a Ho
Modelo logístico simplificado					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**	**Resultado do teste**	***Odd Ratio* (Razão da chance**	
(Intercept)	-2.69219	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,06773214	Redução em 94%
Sudeste (SE)	0.80526	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,23727458	Aumento em 2,2 vezes
Intermediário (I)	0.24980	0.0127	Rejeita a Ho	1,28377320	Aumento em 28%
Cobertura (C)	0.54695	1.56×10^{-8}	Rejeita a Ho	1,72798032	Aumento em 72%
Hora	0.09764	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,10256410	Aumento em 10%

Fonte – Elaborado pela autora.

Neste sentido, os dados correspondentes a estas orientações foram agrupadas à fachada de referência (Sudoeste – SO) para a construção do modelo logístico simplificado, onde todos os coeficientes foram considerados significativos. As estimativas apontaram um aumento na probabilidade de ofuscamento para todas as categorias, uma vez que resultaram em valores positivos, exceto para o coeficiente da constante. Com base no modelo logístico simplificado, a equação para o análise do ofuscamento nos ambientes do cenário Base foi expressa na Equação 4.3.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -2{,}69 + 0{,}80.SE + 0{,}25.I + 0{,}55.C + 0{,}10.Hora \quad \text{(Equação 4.3.3)}$$

Embora confirmado o aumento na probabilidade por meio das estimativas dos coeficientes, com os valores da *odds ratio (*Tabela 4.12) foram definidas as chances decorrentes da mudança da categoria de referência para as demais variáveis do edifício em análise. Para este tipo de ocupação, a chance de ocorrer ofuscamento acima de 0,35 aumentou em 2,24 vezes nos ambientes localizados na fachada Sudeste.

Semelhante evento ocorreu com a variável pavimento, verificando-se um aumento em 28% e 72% na chance de gerar ofuscamento nas categorias Intermediário e Cobertura, respectivamente. Concluiu-se, com este modelo, que a fachada Sudeste e a Cobertura apresentaram maior probabilidade de ofuscamento, já demonstrada nos gráficos de distribuição *boxplot* para modelo de ocupação atual.

Na Tabela 4.12 pode-se verificar o resultado do modelo logístico do cenário Isolado, seguindo as mesmas variáveis e categorias de referência do cenário Base. Segundo o teste de *Wald*, a significância dos coeficientes apontou a rejeição da hipótese nula quanto às estimativas para categoria das orientações Noroeste e Nordeste.

Tabela 4.12 - Modelo logístico – Cenário Isolado (M2).

Modelo logístico					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**			**Resultado do teste**
(Intercept)	-2.05184	$<2,2 \times 10^{-16}$			Rejeita a Ho
Sudeste (SE)	0,58260	$7,08 \times 10^{-9}$			Rejeita a Ho
Noroeste (NO)	-0,01167	**0,914**			**Não rejeita a Ho**
Nordeste (NE)	-0,02343	**0,829**			**Não rejeita a Ho**
Intermediário (I)	-0,02011	**0,823**			**Não rejeita a Ho**
Cobertura (C)	-0,02011	**0,823**			**Não rejeita a Ho**
Hora	0,08613	$1,30 \times 10^{-15}$			Rejeita a Ho
Modelo logístico simplificado					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**	**Resultado do teste**	***Odd Ratio* (Razão da chance)**	
(Intercept)	-2.05184	$<2,2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1253205	Redução em 88%
Sudeste (SE)	0.59426	$6,02 \times 10^{-14}$	Rejeita a Ho	1,8116852	Aumento em 81,1%
Hora	0.08970	1.30×10^{-15}	Rejeita a Ho	1,0899446	Aumento em 8%

Fonte – Elaborado pela autora.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -2,05 + 0,59.SE + 0,09.Hora \quad \text{(Equação 4.4)}$$

Para a variável pavimento, todas as combinações das categorias rejeitaram a hipótese nula, segundo valor p maior que 0,05 (0,823 e 0,829). Este resultado indicou que não existe diferença entre os índices de ofuscamento do Térreo, Intermediário e Cobertura, já demonstrado no teste Qui quadrado e também ilustrado no *boxplot* do cenário Isolado. Na sequência, na Tabela 4.12, verifica-se o modelo simplificado, considerando a orientação como

a única variável qualitativa de influência no ofuscamento para este tipo de ocupação. O modelo pode ser expresso através da Equação 4.4. Quanto à razão da chance, o valor da *odds* foi menor que a encontrada no cenário Base. No entanto, também atingiu um aumento em 81,1% da chance de ocorrer ofuscamento ao passar das orientações de referência para a fachada Sudeste.

Para o modelo de regressão referente ao cenário de ocupação máxima e reflexão média nas fachadas (M3A – Tabela 4.13), a única categoria que não rejeitou a hipótese de significância do coeficiente foi a orientação Noroeste. Esta, por sua vez, não apresentou diferença significativa se comparadas à fachada de referência Sudoeste, sendo assim agrupadas no mesmo conjunto de dados. Após o ajuste do modelo, o resultado da estatística de *Wald* confirma o teste através do valor p menor que 0,05, rejeitando a hipótese nula para todas as variáveis. Tais categorias foram selecionadas para compor o modelo logístico deste cenário expresso na Equação 4.5.

Tabela 4.13 - Modelo logístico – Cenário Ocupação Máxima Reflexão 60% (M3A).

Modelo logístico					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**	**Resultado do teste**		
(Intercept)	-3,396698	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		
Sudeste (SE)	0,580997	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		
Noroeste (NO)	0,125548	**0,0797**	**Não rejeita a Ho**		
Nordeste (NE)	-0,508997	$6,43 \times 10^{-10}$	Rejeita a Ho		
Intermediário (I)	0,347025	$8,39 \times 10^{-7}$	Rejeita a Ho		
Cobertura (C)	1,015461	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		
Hora	0,081873	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		
Modelo logístico simplificado					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**	**Resultado do teste**	***Odd Ratio* (Razão da chance)**	
(Intercept)	-3,332195	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,1253205	Redução em 88%
Sudeste (SE)	0,516698	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,48212013	Aumento em 48%
Nordeste (NE)	-0,573285	$5,26 \times 10^{-15}$	Rejeita a Ho	0,56367047	Redução em 44%
Intermediário (I)	0,346980	$8,41 \times 10^{-7}$	Rejeita a Ho	1,41478838	Aumento em 41%
Cobertura (C)	1,015282	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,76014296	Aumento em 2,7x
Hora	0,081857	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,08530101	Aumento em 8,5%

Fonte – Elaborado pela autora.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -3{,}33 + 0{,}51.SE - 0{,}57.NE + 0{,}34.I + 1{,}01.C + 0{,}08.Hora \quad \text{(Equação 4.5)}$$

Semelhante aos modelos anteriores, a fachada Sudeste apresentou maior probabilidade de ofuscamento quando comparadas às orientações Sudoeste e Noroeste, registrando aumento em 48%. Já a fachada Nordeste acusou redução em 44%.

Quanto a variável pavimento, também ocorreu o aumento nos índices de desconforto visual entre o Térreo e os andares superiores, chegando a 41% para o Intermediário e quase

três vezes mais na Cobertura. O destaque para o último pavimento pode ser explicado pela influência da componente da luz direta decorrente da desobstrução. Na Tabela 4.13 pode-se verificar o resultado da razão da chance entre as variáveis do edifício para este cenário.

O cenário de ocupação máxima com reflexão de 90% apontou o mesmo resultado na estatística de *Wald* para a orientação Noroeste (valor p = 0,0739). Seguindo o mesmo procedimento do cenário anterior, os dados desta fachada foram agrupados a categoria referência, ajustando para o modelo logístico simplificado (Tabela 4.14).

Tabela 4.14 - Modelo logístico – Cenário Ocupação Máxima reflexão 90% (M3B).

Modelo logístico					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**	**Resultado do teste**		
(Intercept)	-2,890513	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		
Sudeste (SE)	0,403632	$1,98 \times 10^{-12}$	Rejeita a Ho		
Noroeste (NO)	0,020246	**0,0739**	**Não rejeita a Ho**		
Nordeste (NE)	-0,316622	$9,81 \times 10^{-7}$	Rejeita a Ho		
Intermediário (I)	0,571525	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		
Cobertura (C)	0,970585	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		
Hora	0,073689	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho		
Modelo logístico simplificado					
Coefficients	**Estimate**	**Pr(>|z|)**	**Resultado do teste**	***Odd Ratio* (Razão da chance)**	
(Intercept)	-2,880348	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	0,05611524	Redução em 95%
Sudeste (SE)	0,393474	$5,33 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,67648326	Aumento em 67%
Nordeste (NE)	-0,326780	$9,93 \times 10^{-9}$	Rejeita a Ho	0,72124239	Redução em 28%
Intermediário (I)	0,571522	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,77096098	Aumento em 77%
Cobertura (C)	0,970580	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	2,83947406	Aumento em 2,8 x
Hora	0,073688	$<2 \times 10^{-16}$	Rejeita a Ho	1,07647117	Aumento em 7,6%

Fonte – Elaborado pela autora.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = -2{,}88 + 0{,}39.SE - 0{,}33.NE + 0{,}57.I + 0{,}97.C + 0{,}07.Hora \quad \text{(Equação 4.6)}$$

Uma vez definido o modelo, identificaram-se, para cada variável, os ambientes que alcançaram menor e maior chance de ocorrer ofuscamento. Dentre as categorias da variável orientação, a fachada Sudeste registrou um aumento em 67%, diferente da Nordeste que reduziu em 44%. De acordo com as estimativas dos coeficientes deste modelo, foram estruturadas as variáveis na Equação 4.6.

Apesar das diferenças nos resultados do cenário com a reflexão média, percebeu-se que as duas orientações obtiveram o mesmo comportamento quanto às chances de ofuscamento. Com aumento do ofuscamento nos ambientes do Sudeste e redução nos ambientes com orientação Nordeste. No entanto, os valores das chances aumentaram com a mudança de coeficiente para a condição máxima (90%), confirmando que ambientes

localizados em condições de ocupação semelhante sofrem mais influência no índice de desconforto visual quando o entorno apresenta superfícies verticais mais claras.

4.4. COMPARATIVO ENTRE VARIÁVEIS

A partir das análises dos resultados, foi possível chegar ao quadro comparativo relacionando as variáveis respostas – frequências das iluminâncias, percentual de área iluminada naturalmente e a probabilidade de ofuscamento - e as explicativas – cenário, uso de elemento de proteção, pavimento e orientação. Os principais resultados observados foram:

- **TIPO DE OCUPAÇÃO – Grau de obstrução:** A frequência das iluminâncias espacial-temporal esteve diretamente relacionada com as condições de ofuscamento dos ambientes internos, sendo os cenários de máxima ocupação mais uniformes e com menos probabilidade de brilho excessivo. No entanto, tais cenários obtiveram menores percentuais de iluminação dentro da faixa útil, sendo a contribuição da componente refletida externa (CRE) um dos fatores determinantes para a condição regular de iluminação nos ambientes influenciados pelo entorno com coeficiente de reflexão máximo, aliados ao grau de obstrução. Ao contrário destes, os modelos sem influência da obstrução – Isolado – registraram os melhores desempenhos quanto aos níveis de iluminação, mas a variação das iluminâncias conduziu aos maiores contrastes e consequentemente aos altos índices de ofuscamento. Já cenário Atual obteve o desempenho lumínico e visual entre regular e bom, sendo este o que proporcionou resultados mais satisfatórios em todas as variáveis respostas;

- **PROTEÇÃO –** Grau de sombreamento das fachadas: Dentre as categorias de proteção analisadas, apenas os cenários, cujas fachadas não dispõem de dispositivos de sombreamento, apontaram variações de iluminâncias mais evidentes. A partir da adoção de proteções solares, as variações reduziram, atingindo condições de iluminação mais uniformes nos ambientes internos. Quanto aos percentuais de iluminação, os cenários com elementos de dimensão máxima (1,50m) apresentaram bom desempenho lumínico ao contrário do cenário sem sombreamento nas fachadas. O aumento da área iluminada foi diretamente proporcional ao aumento da dimensão das proteções. Caso semelhante ocorreu na análise do ofuscamento, onde o grau de

obstrução e de sombreamento reduziram os desconfortos visuais na mesma proporção dos níveis de iluminação, não havendo diferenças significativas entre as fachadas não sombreadas e as com proteção 0,50m.

- **PAVIMENTOS:** Diante da influência do sombreamento proveniente das obstruções e dos elementos de proteção, os ambientes localizados no andar Térreo apresentaram menores variações na faixa de iluminâncias insuficiente (abaixo de 300lux). Com efeito, as chances de ofuscamento também foram reduzidas em função da uniformidade e dos baixos níveis de iluminação. À medida que aumentou a altura do pavimento, as condições de uniformidade, percentual de área iluminada e desconforto visual alcançaram maiores proporções, sendo neste caso os pavimentos Intermediário e a Cobertura considerados de melhor e pior desempenho, respectivamente.

- **ORIENTAÇÃO:** Os ambientes internos posicionados nas fachadas Nordeste e Noroeste obtiveram desempenho ótimo em todas as variáveis analisadas, com exceção da análise sobre a variação espacial das iluminâncias, com uma classificação intermediária. Diferente desta, a fachada Sudoeste alcançou os piores índices, sendo a orientação de maior variação na iluminação. Quanto a variável ofuscamento, a maiores e menores índices de ofuscamento foram registrados nas fachadas Sudeste (SE) e Nordeste (NE), respectivamente, em comparação com a orientação de referência (SO). O teste de hipóteses para o ambiente localizado na orientação Noroeste (NO) apresentou resultados com grandes chances de semelhanças aos índices de ofuscamento do ambiente de referência (SO).

Tabela 4.15 – Comparativo entre variáveis de ocupação - cenários.

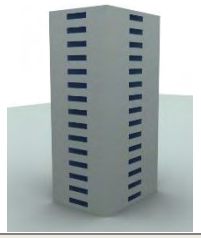
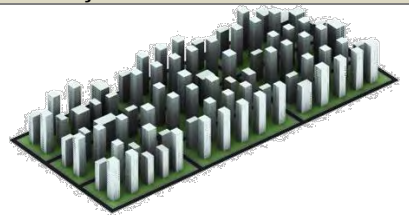
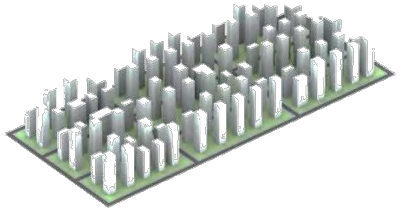
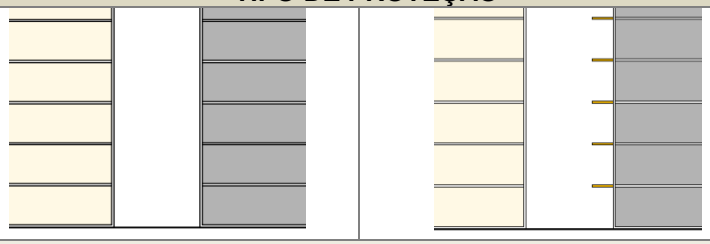
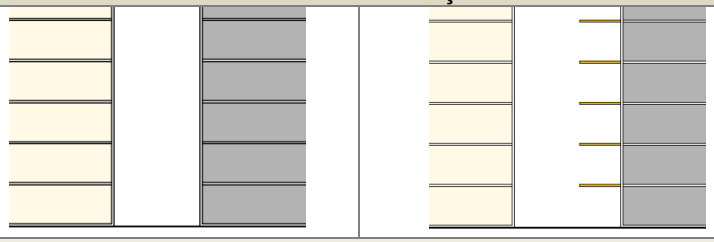
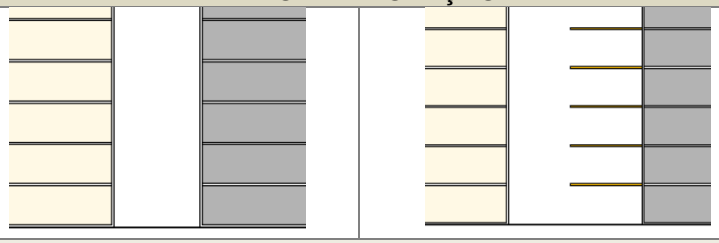
VARIÁVEIS EXPLICATIVAS INDEPENDENTES		VARIÁVEIS RESPOSTAS DEPENDENTES	
TIPO DE OCUPAÇÃO		**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
		**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	MODELO 1 = MODELO 2*
		VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	MODELO 1 > MODELO 2 Diferença estimada em 291 lux**
		% ÁREA ILUMINADA	MODELO 1 < MODELO 2 Diferença estimada em 10,2%**
		PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	MODELO 1 < MODELO 2 Aumento a chance em 14%
MODELO 01 CONFIGURAÇÃO ATUAL	**X**	**MODELO 2** EDIFÍCIO ISOLADO	
TIPO DE OCUPAÇÃO		**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
		**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	MODELO 1 > MODELO 3A Diferença estimada em 356 lux**
		VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	MODELO 1 > MODELO 3A Diferença estimada em 585 lux**
		% ÁREA ILUMINADA	MODELO 1 > MODELO 3A Diferença estimada em 21,5%**
		PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	MODELO 1 > MODELO 3A Reduz a chance em 58%
MODELO 01 CONFIGURAÇÃO ATUAL	**X**	**MODELO 3A** CONFIGURAÇÃO MÁXIMA COM REFLETÂNCIA MÉDIA	
TIPO DE OCUPAÇÃO		**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
		**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	MODELO 1 > MODELO 3B Diferença estimada em 265 lux**
		VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	MODELO 1 > MODELO 3B Diferença estimada em 406 lux**
		% ÁREA ILUMINADA	MODELO 1 > MODELO 3B Diferença estimada em 13%**
		PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	MODELO 1 > MODELO 3B Reduz a chance em 34%
MODELO 01 CONFIGURAÇÃO ATUAL	**X**	**MODELO 3B** CONFIGURAÇÃO MÁXIMA COM REFLETÂNCIA MÁXIMA	**OBSERVAÇÕES**: * Apresentam grandes chances de serem iguais de acordo com o Teste de Hipóteses *Wilcoxon Rank.* **Estimativa da diferença entre as variáveis com margem de erro de 5%.

Tabela 4.16 – Comparativo entre variáveis de proteção.

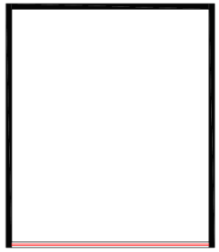
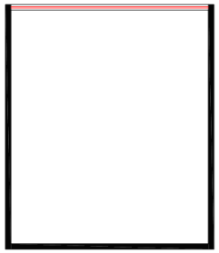
VARIÁVEIS EXPLICATIVAS INDEPENDENTES	VARIÁVEIS RESPOSTAS DEPENDENTES	
TIPO DE PROTEÇÃO	**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
	**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	PROTEÇÃO 0 > PROTEÇÃO 50 Diferença estimada em 268 lux**
	VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	PROTEÇÃO 0 > PROTEÇÃO 50 Diferença estimada em 268 lux**
	% ÁREA ILUMINADA	PROTEÇÃO 0 < PROTEÇÃO 50 Diferença estimada em 3,6%**
	PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	PROTEÇÃO 0 = PROTEÇÃO 50***
PROTEÇÃO 0 SEM DISPOSITIVO	**X**	**PROTEÇÃO 50** DISPOSITIVO HORIZONTAL COM 50cm
TIPO DE PROTEÇÃO	**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
	**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	PROTEÇÃO 0 > PROTEÇÃO 100 Diferença estimada em 331 lux**
	VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	PROTEÇÃO 0 > PROTEÇÃO 100 Diferença estimada em 331 lux**
	% ÁREA ILUMINADA	PROTEÇÃO 0 < PROTEÇÃO 100 Diferença estimada em 10,5%**
	PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	PROTEÇÃO 0 > PROTEÇÃO 100 Reduz a chance em 17%
PROTEÇÃO 0 SEM DISPOSITIVO	**X**	**PROTEÇÃO 100** DISPOSITIVO HORIZONTAL COM 100cm
TIPO DE PROTEÇÃO	**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
	**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	PROTEÇÃO 0 > PROTEÇÃO 150 Diferença estimada em 388 lux**
	VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	PROTEÇÃO 0 > PROTEÇÃO 150 Diferença estimada em 388 lux**
	% ÁREA ILUMINADA	PROTEÇÃO 0 < PROTEÇÃO 150 Diferença estimada em 10,2%**
	PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	PROTEÇÃO 0 > PROTEÇÃO 150 Reduz a chance em 27%
PROTEÇÃO 0 SEM DISPOSITIVO	**X**	**PROTEÇÃO 150** DISPOSITIVO HORIZONTAL COM 150cm

OBSERVAÇÕES:
* Apresentam grandes chances de serem iguais de acordo com o Teste de Hipóteses *Wilcoxon Rank*.
**Estimativa da diferença entre as variáveis com margem de erro de 5%.
***Resultado referente a estatística de *Wald*.

Tabela 4.171 – Comparativo entre variáveis de pavimento.

VARIÁVEIS EXPLICATIVAS INDEPENDENTES		VARIÁVEIS RESPOSTAS DEPENDENTES	
PAVIMENTOS		**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
		VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL	TÉRREO < INTERMEDIÁRIO Diferença estimada em 91 lux**
		VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	TÉRREO < INTERMEDIÁRIO Diferença estimada em 258 lux**
		% ÁREA ILUMINADA	TÉRREO < INTERMEDIÁRIO Diferença estimada em 13,1%**
		PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	MODELO 1 Aumenta a chance em 28% MODELO 2 TÉRREO = INTERMEDIÁRIO*** MODELO 3A Aumenta a chance em 41% MODELO 3B Aumenta a chance em 77%
TÉRREO	**X**	**INTERMEDIÁRIO**	
		DESEMPENHO DA LUZ NATURAL	**COMPARATIVO**
		VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL	TÉRREO < COBERTURA Diferença estimada em 243 lux**
		VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	TÉRREO < COBERTURA Diferença estimada em 547 lux**
		% ÁREA ILUMINADA	TÉRREO < COBERTURA Diferença estimada em 72%**
		PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	MODELO 1 Aumenta a chance em 72% MODELO 2 TÉRREO = COBERTURA*** MODELO 3A Aumenta a chance em 270% MODELO 3B Aumenta a chance em 280%
TÉRREO	**X**	**COBERTURA**	**OBSERVAÇÕES**: * Apresentam grandes chances de serem iguais de acordo com o Teste de Hipóteses *Wilcoxon Rank*. **Estimativa da diferença entre as variáveis com margem de erro de 5% ***Resultado referente a estatística de *Wald*.

Tabela 4.182 – Comparativo entre variáveis de orientação.

VARIÁVEIS EXPLICATIVAS INDEPENDENTES				VARIÁVEIS RESPOSTAS DEPENDENTES	
ORIENTAÇÃO				**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
	NORTE		NORTE	**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	SUDOESTE > SUDESTE Diferença estimada em 512 lux**
				VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	SUDOESTE > SUDESTE Diferença estimada em 329 lux**
				% ÁREA ILUMINADA	SUDOESTE < SUDESTE Diferença estimada em 6%**
				PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	MODELO 1 Aumenta a chance em 220% MODELO 2 Aumenta a chance em 81,1% MODELO 3A Aumenta a chance em 48% MODELO 3B Aumenta a chance em 67%
SUDOESTE X SUDESTE					
ORIENTAÇÃO				**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
	NORTE		NORTE	**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	SUDOESTE > NOROESTE Diferença estimada em 446 lux**
				VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	SUDOESTE > NOROESTE Diferença estimada em 215 lux**
				% ÁREA ILUMINADA	SUDOESTE = NOROESTE**
				PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	MODELO 1 Semelhantes*** MODELO 2 Semelhantes*** MODELO 3A Semelhantes*** MODELO 3B Semelhantes***
SUDOESTE X NOROESTE					
ORIENTAÇÃO				**DESEMPENHO DA LUZ NATURAL**	**COMPARATIVO**
	NORTE		NORTE	**VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS ESPACIAL**	SUDOESTE > NORDESTE Diferença estimada em 431 lux**
				VARIAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS TEMPORAL	SUDOESTE = NORDESTE*
				% ÁREA ILUMINADA	SUDOESTE = NORDESTE*
				PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO	MODELO 1 Semelhantes*** MODELO 2 Semelhantes*** MODELO 3A Reduz a chance em 44% MODELO 3B Reduz a chance em 28%
SUDOESTE X NORDESTE					**OBSERVAÇÕES**: * Apresentam grandes chances de serem iguais de acordo com o Teste de Hipóteses *Wilcoxon Rank*. **Estimativa da diferença entre as variáveis com margem de erro de 5%. ***Resultado referente a estatística de *Wald*.

5. Conclusão

5 CONCLUSÕES

O presente capítulo apresenta as principais conclusões extraídas da pesquisa, seguidas de recomendações para trabalhos futuros que possam dar continuidade ao estudo aprofundando alguns pontos abordados na dissertação.

Objetivando avaliar a influência do entorno nas iluminâncias e ofuscamento em ambientes internos, foi proposto, nesta pesquisa, um estudo de caso em edifícios residenciais multipavimentos no bairro de Manaíra localizado na cidade de João Pessoa-PB. O objeto de estudo foi delimitado com a escolha de um recorte baseado na configuração urbana real, adotando como edifício de análise o modelo representativo do bairro de acordo com o levantamento *in loco* e a pesquisa de Martins (2013).

Para este fim, foram determinadas variáveis referentes ao entorno e ao edifício (explicativas). Com intuito de comparar a influência do grau de obstrução, adotaram-se dois tipos de ocupação, sendo o Cenário Isolado com apenas um edifício sem interferência do entorno e o de Máxima Ocupação permitida pela legislação baseada na situação atual do bairro. A partir dos cenários, foram desenvolvidos modelos que alteraram suas características quanto ao coeficiente de reflexão das superfícies verticais – fachadas (médio com 58% – calculado na pesquisa e máximo com 90%) e ao grau de sombreamento proveniente dos elementos de proteção horizontal (sem proteção, 0,50m, 1,00m e 1,50m). Adicionalmente, foram destacadas como variáveis do edifício: a altura do pavimento, dividida em três categorias: Térreo, Intermediário e Cobertura; e as orientações predominantes no bairro: Sudoeste, Sudeste, Noroeste e Nordeste.

De forma a alcançar os objetivos do estudo, os modelos foram simulados no *software* de cálculo de métricas dinâmicas da luz natural, *Daysim*, extraindo os valores de iluminância horária e dos percentuais de iluminância natural útil ou autônomo ($INU_{300\text{-}3000lux}$), medidos na grade de sensores sobre uma altura de plano de trabalho a 0,85m do piso. Com uso de aplicativo *Evalglare*, também foram calculadas a probabilidade de ofuscamento da luz natural (*Daylight Glare Probability)* nos modelos, tendo como referência quatro sensores localizados em posição perpendicular em relação à abertura com a altura de 1,20m referente ao olho do observador.

Para avaliação dos dados resultantes das simulações, foram aplicados procedimentos baseados em métodos gráficos e estatísticos. O primeiro permitiu avaliar a distribuição das iluminâncias, de modo a caracterizar as variáveis que comprometeram a homogeneidade

lumínica do ambiente, com base na pesquisa desenvolvida por Futrell e Brentrup (2012), bem como o comportamento da luz natural mediante adoção de critério de percentual de área iluminada com Iluminância Natural Útil (INU) acima de 75%. Através de métodos estatísticos, foram realizados testes de hipóteses não paramétricos – *Wilcoxon Rank Test* – e cálculo das estimativas das diferenças entre os modelos com intervalo de confiança de 95% (margem de erro ±5%), a fim de confrontar o comportamento das variáveis respostas – uniformidade, níveis de iluminação e ofuscamento – com as variáveis explicativas adotadas na pesquisa. Em complemento, aplicaram-se modelos lineares generalizados (MLGs) através de regressões logísticas para avaliação da probabilidade de ofuscamento expressos por modelos múltiplos e pela razão da chance de ocorrência de desconfortos visuais.

A partir das análises dos impactos proporcionados pelas variáveis de entorno e considerando os diferentes pavimentos e orientações do edifício, foi possível identificar diferenças na distribuição da luz natural nos ambientes internos inseridos em cenários de ocupação distinta, sendo a de melhor desempenho quanto à variação das iluminâncias os modelos de ocupação máxima e o pior destinado aos ambientes que não sofreram influência do entorno – Cenário Isolado. Quanto aos níveis de iluminação, os percentuais de área iluminada atingiram valores inversamente proporcionais aos correspondentes à distribuição das iluminâncias, sendo os ambientes com pior desempenho lumínico localizados em cenário de máxima ocupação com reflexão média nas fachadas.

Em relação a variável ofuscamento, os cenários que atingiram maior e menor índice foi o Isolado e o Ocupação máxima com fachadas de reflexão média, que aumenta a chance em 58% (pior desempenho) e reduz em 14% (melhor desempenho) comparados com o Modelo Atual, respectivamente. Já os ambientes, sob influência do cenário de Ocupação máxima, obtiveram reduções nas chances de ocorrência de brilhos excessivos em função do grau de adensamento.

Além da obstrução, outro fator determinante para a ocorrência de ofuscamento foi a componente de reflexão externa, que contribuiu para a redução na chance de desconforto visual nos cenários de máxima ocupação com reflexão média (Modelo 3A – 58%) e reflexão máxima (Modelo 3B – 34%).

No que se refere ao grau de sombreamento das fachadas, pode-se inferir que os elementos de proteção desempenharam influência no direcionamento da luz nos espaços e na redução dos índices de ofuscamento, sendo a dimensão do dispositivo proporcional à contribuição nos aspectos lumínicos e visuais. As mudanças foram pouco significativas quando relacionadas com a variação espacial e temporal da iluminância. Neste sentido, o grau

de obstrução e de sombreamento e a componente refletida foram identificados como variáveis significativas na variação da homogeneidade e dos níveis de iluminação nos espaços internos. A alteração na probabilidade de ofuscamento não foi perceptível em cenários sem proteção e com elemento de 0,50m, apresentando indicativos de redução nas chances em até 17%, a partir do prolongamento do dispositivo para 1,00m.

Em função da mudança de pavimento dos ambientes avaliados, os testes registraram diferenças significativas entre as variáveis respostas, sobretudo entre os andares mais extremos. Diferentes da Cobertura, o pavimento Térreo foi mais obstruído e sombreado, implicando em menores níveis de iluminação e na redução dos contrastes da luz natural, consequentemente, registrou menores faixas de ofuscamento desconfortável. Em contrapartida, os ambientes menos obstruídos, localizados na Cobertura, apresentaram similaridades nos resultados dos pavimentos do cenário Isolado, indicando maiores índices de ofuscamento intolerável, bem como maiores razões da chance de ocorrência de brilhos excessivos em relação aos demais pavimentos. Tais índices chegaram ao aumento da chance em quase três vezes mais se comparados ao pavimento Térreo, sob condição de cenário de máxima ocupação. Os pavimentos Intermediários apontaram desempenho satisfatório em todas as variáveis respostas da pesquisa.

Em geral, foi possível identificar semelhanças nos resultados da admissão da luz natural entre os ambientes com diferentes orientações, com variações apenas na distribuição das iluminâncias. Os ambientes posicionados no Sudeste apresentaram maior ocorrência de ofuscamento, sobretudo nos cenários Atual e Isolado. Comparados à Sudoeste, a chance de ocorrência de ofuscamento aumentou em duas vezes nos ambientes da fachada Sudeste. Já os de melhor desempenho foram os localizados na fachada Noroeste e Nordeste, sendo o último o que atingiu menor probabilidade de ofuscamento intolerável, sobretudo nos edifícios inseridos nos cenários de máxima ocupação com diferentes coeficientes de reflexão.

Comprovou-se, neste sentido, a influência expressiva das variações no entorno e ainda nas orientações do edifício sobre os aspectos lumínicos e visuais dos ambientes internos localizados em diferentes pavimentos. Em comparação ao caso atual de Manaíra, a futura verticalização do bairro acarretará em reduções de área iluminada dentro da faixa de iluminâncias útil em 21,5%, considerando o cenário com o coeficiente de reflexão médio (58%).

A adoção de coeficiente de reflexão mais elevado pode ampliar os níveis internos em 8,5% (comparado ao cenário máximo com reflexão média), porém a chance de ocorrência de ofuscamento aumentou em 24%. O uso de dispositivos de proteção solar atenua esta

problemática, uma vez que, nos cenários máximos com sombreamento de 1,50m, ocorreu um acréscimo no percentual de área iluminada de 10,2% em relação aos cenários máximos sem dispositivos. Assim como, o índice de ofuscamento reduziu em 27% para as condições de cenário sombreados.

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou avaliar o desempenho lumínico de ambientes internos sob condições distintas de entorno (cenários urbanos), pavimentos e orientação e, igualmente, alcançar resultados significativos quantos aos aspectos qualitativos e quantitativos nos níveis de iluminação natural e ocorrência de ofuscamento. Conclui-se que, no caso do recorte urbano em estudo, a implantação das taxas de ocupação máximas, permitidas pela atual legislação, bem como o uso de coeficiente de reflexão elevado, pode resultar em índices aceitáveis de iluminação e chances reduzidas de ofuscamento, sobretudo com a adoção de sombreamento por meio de elementos de proteção no entorno.

Referências bibliográficas

ARAÚJO, I. A. L. de. **Influência da luz natural refletida pelo entorno na iluminação de edifícios no trópico úmido.** Dissertação de Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. UFAL, Maceió, 2006.

ARAÚJO, I. A. L. de; CAVALCANTE, M. R. C.; CABÚS, R. **Influência de prateleira de luz sob marquise na uniformidade da iluminação natural em interiores.** Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC-ELACAC, Maceió, Outubro de 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT-NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações: Parte 3 - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. NBR 15215-2: **Iluminação Natural – Parte 2: procedimento de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BRANDÃO, R. S.; ALUCCI, M. P. **Solar access in tropical cities: towards multicriteria solar envelope.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 2005.

BOYCE, P. R., CUTTLE, C. **Discussion of Veitch J.A. and Newsham G.R., Determinants of lighting quality I: State of the Science.** Journal of the Illuminating Engineering Society 27, 1998

BITTENCOURT, L. S. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos.** 4ª ed. Edufal, Maceió, 2004.

BITTENCOURT , Leonardo salazar ; DIDONÉ , Evelise. **Avaliação do desempenho de diferentes configurações de protetores solares na iluminação natural de salas de aula.** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, FLORIANÓPOLIS, 2006, Florianopolis, SC, 2006.

CABÚS, C; DAMASCENO, S.; MARTINS, L.; ALBUQUERQUE, V. **Influência da luz refletida no solo na iluminação natural em edifícios com vários pavimentos nos trópicos.** Encontro Nacional e Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC-ELACAC, Maceió, Outubro de 2005.

CANTIN, F.; DUBOIS, M-C. **Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity.** Lighting Research Technology. 43: 291-307, 2011.

CARVALHO, C. A. de. **Avaliação do sombreamento e da iluminação natural em apartamentos de edifícios residenciais verticais multifamiliares de Maceió-AL: o uso de varandas.** Dissertação de Mestrado. UFAL, 2010.

CEBRACE. Vidros. <http://www.cebrace.com.br/>. Acesso em: Outubro de 2013.

CIBSE. S.o.L.a. lighting. **In: SII lighting guide 11:surface reflectance and colour.** London, UK: CIBSE; 2001.

CINTRA, M. S. **Arquitetura e luz natural: A influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais.** Dissertação de mestrado, FAU-UNB, 2011.

COLOMBO, E.; O'DONELL, B.; KIRSCHBAUM, C. Iluminación eficaz: calidad y factores humanos In: CAMPOREALE, P.; DUTT, G. **Manual de Iluminación Eficiente**. Universidade Tecnológica Nacional e Efficient Lighting Iniciative-ELI. Argentina, 2006. Disponível em: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/>. Acesso em: Junho de 2013.

COMITÊ GESTOR DE INDICADORES E NÍVEIS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA et al. **Manual de Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C.** Eletrobrás, 2009a.

_____. RTQ-C. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** 2009b.

_____. RTQ-R. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficência Energética de Edifícios Residenciais.** 2010.

CÓRICA, I; PATTINI, A. **Evaluación del acceso a la iluminación natural em edificios de alta densidad edilicia según los indicadores urbanos del código urbano y edificación de la ciudad de mendoza.** Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Buzios-RJ, 2011.

CRUZ E SILVA, V. S. **A influência dos protetores solares no comportamento da luz natural em edifícios de escritório.** Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília (UNB), 2011.

DÍAZ, L. A. **Ensaio metodológico de avaliação do desempenho de janelas e dispositivos de sombreamento, na integração entre iluminação natural e conveniência da incidência solar, nas fases iniciais do projeto.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

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

EBLE-HANKINS, M. **Subjective impression of discomfort glare from sources of non-uniform luminance.** Architectural Engineering - Dissertations and Student Research. University of Nebraska at Lincoln, 2008. Disponível em: <http://digitalcommons.unl.edu/archengdiss/1>. Acesso em: Abril de 2013.

FONTOYNONT, M. **Perceived performance of daylighting system: lighting efficacy and agreeableness.** Solar Energy 73, 83–94, 2002.

GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem.** 2. ed. Porto Alegre : Bookman, 1998.

HINES, William W; MONTGOMERY, Douglas C; GOLDSMAN, David M; BORROR, Connie M. **Probabilidade e estatística na engenharia.** Rio de Janeiro: LTC, 2006.

HOPKKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression.** 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

JAKUBIEC, A.; REINHART, C. **The use of glare metrics in the design of daylit spaces: recommendations for practice.** 9th Internacional Radiance Workshop. Harvard Design School, September, 2010.

JAKUBIEC, A.; REINHART, C. **Overview and Introduction to DAYSIM and Current Research Developments.** Massachusetts Institute of Technology, Building Technology Program.11th Annual International Radiance Conference. September, 2012.

JOHNSON, R.A; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. ed.6. New Jersey: Prentice-Hall, 2007.

LARANJA, A. C **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno.** Tese de doutorado. UFRJ, 2010.

_____; GAZZANEO, L. M. C.; CABÚS, R. C. **Interferências da largura das vias na disponibilidade de iluminação natural do ambiente interno.** Cadernos do PROARQ - Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

LEDER, S. M.; PEREIRA, F. O. R.; MORAES, L. N. **Determinação experimental de coeficiente de reflexão médio para superfícies verticais em um meio urbano.** IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC, Ouro Preto, Agosto de 2007.

LEDER, S. M. **Ocupação urbana e luz natural: proposta de parâmetro de controle da obstrução do céu para garantia da disponibilidade à luz natural**. Tese de doutorado. UFSC. 2007.

LI, D. H. W.; CHEUNG, G. H. W., CHEUNG, K. L.; LAM, T. N. T. **Determination of vertical daylight illuminance under non-overcast sky conditions.** Building and Environment. V.45, p. 498-508, 2010.

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.; NABIL A. **Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors**. Energy and Buildings, Vol. 38, Nº 7, 2006.

MARDALJEVIC, J.; REINHART, C. F.; ROGERS, Z. **Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design**. LEUKOS, Volume 3, Issue 1, 2006.

MARDALJEVIC,J; HESCHONG, L M; LEE, E. **Daylight metrics and energy savings.** Lighting Research and Technology. 41: 261–283, 2009.

MARDALJEVIC,J; ANDERSEN, M.; ROY, N.; CHRISTOFFERSEN, J. **Daylighting metrics for residential buildings.** 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, July 11-15, 2011.

MARTINS, Lúcia Helena Aires. **A influência do sombreamento no desempenho termoenergético de edifícios residenciais multipavimentos na cidade de João Pessoa-Pb.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental – UFPB, 2013.

MEAD, D. **Understanding glare: Design Methods for Improving Visual Comfort.** Perkins + Will Research Journal, Vol. 03.01, 2011.

MESA, N. A.; PATTINI, A.; CÓRICA, I.; DE ROSA, C. (2004) **Metodologia de evaluacion de la potencialidad de la luz natural para iluminar edifícios, en entornos de alta densidad, en zonas áridas andinas.** Estúdios de arquitectura bioclimática, México, vol. VI, p. 279-297.

PALHINHA, M. S. J. **Sistemas de Sombreamento em arquitetura: proposta de um novo método de concepção e dimensionamento.** Dissertação de mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

REINHART, C.; WALKENHORST, O. **Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer venetian blinds.** Energy and Buildings, Vol.33, Nº7, 2001.

REINHART, C. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design.** Institute for research in Construction National Research Council Canada, Canada. 2006.

REINHART, C.; WIENOLD, J. The Daylighting Dashboard - A Simulation- Based Design Analysis for Daylit Spaces. Building and Environment Volume 46, Issue 2, 2010.

ROBBINS, C. L. **DAYLIGHTING: Design and analysis.** New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986.

SANTOS, C. M. L. **O projeto de iluminação para edifícios de escritórios: Influência das Variáveis Arquitetônicas no Comportamento da Luz natural e Conforto Visual.** Dissertação de Mestrado. UFRJ, 2007.

SUGA, M. **Avaliação do potencial de aproveitamento de luz natural em cânions urbanos: estudo realizado nos eixos estruturais de Curitiba.** Dissertação de Mestrado apresentada para o CEFET-PR, Curitiba, 2005.

TIBIRICA, A. C. G.; FERRAZ, R. **Considerações para projeto de janelas em edificações: Fatores ambientais, normativos e tecnológicos.** In: VIII Encontro Nacional e V Encontro Lationo-Americano de Conforto no Ambiente Construído. Maceió, AL: ENCAC, 2005.

TREGENZA, P. R. **Mean daylight illuminance in rooms facing sunlit streets.** Building and Environment, v.30, n.1, p.83-89. 1995.

TSANGRASSOULIS, A.; SANTAMOURIS, M. G. V; WILSON, M.; ASIMAKOPOULOS, D. **A Method to investigate the potencial of South-oriented vertical surfaces for under sunny conditions.** Solar Energy, v. 66, n. 6, p. 439-446, 1999.

ÜNVER, R.; ÖZTÜRK, L.; ADIGÜZEL, S.; ÇELIK, Ö. **Effect of facade alternatives on the daylight illuminance in offices.** Energy and Buildings, v. 35, pp. 737-746, 2003.

VEITCH, J.A. **Psychological processes influencing lighting quality.** Journal of the Illuminating Engineering Society, v. 30, pp. 124‑140, 2001.

VEITCH, J.A., CHARLES, K.E.; FARLEY, K.M.J., NEWSHAM. **A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings.** Journal of Environmental Psychology, v. 27, pp. 177‑189, 2007.

VEITCH, J.A. **The physiological and psychological effects of windows, daylight, and view at home.** 4th VELUX Daylight Symposium, Lausanne, Switzerland, pp. 1-6, May 4-5, 2011.

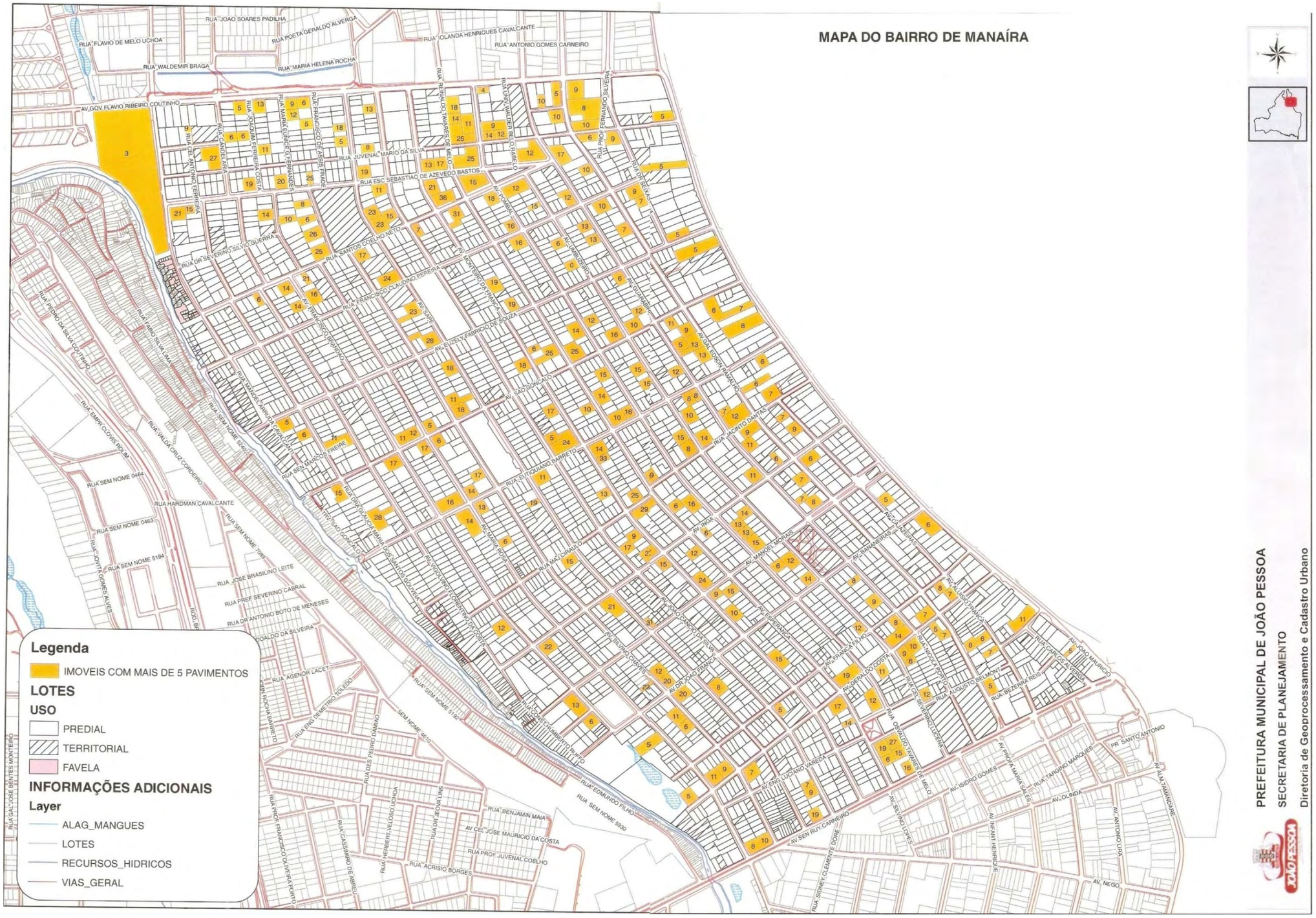
WIENOLD, J. and CHRISTOFFERSEN, J. **Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras.** Energy & Buildings, 38[7], 743-757, 2006.

WIENOLD, J. **Dynamic simulation of blind control strategies for visual comfort and energy balance analysis.** Proceedings: Building Simulation, 2007.

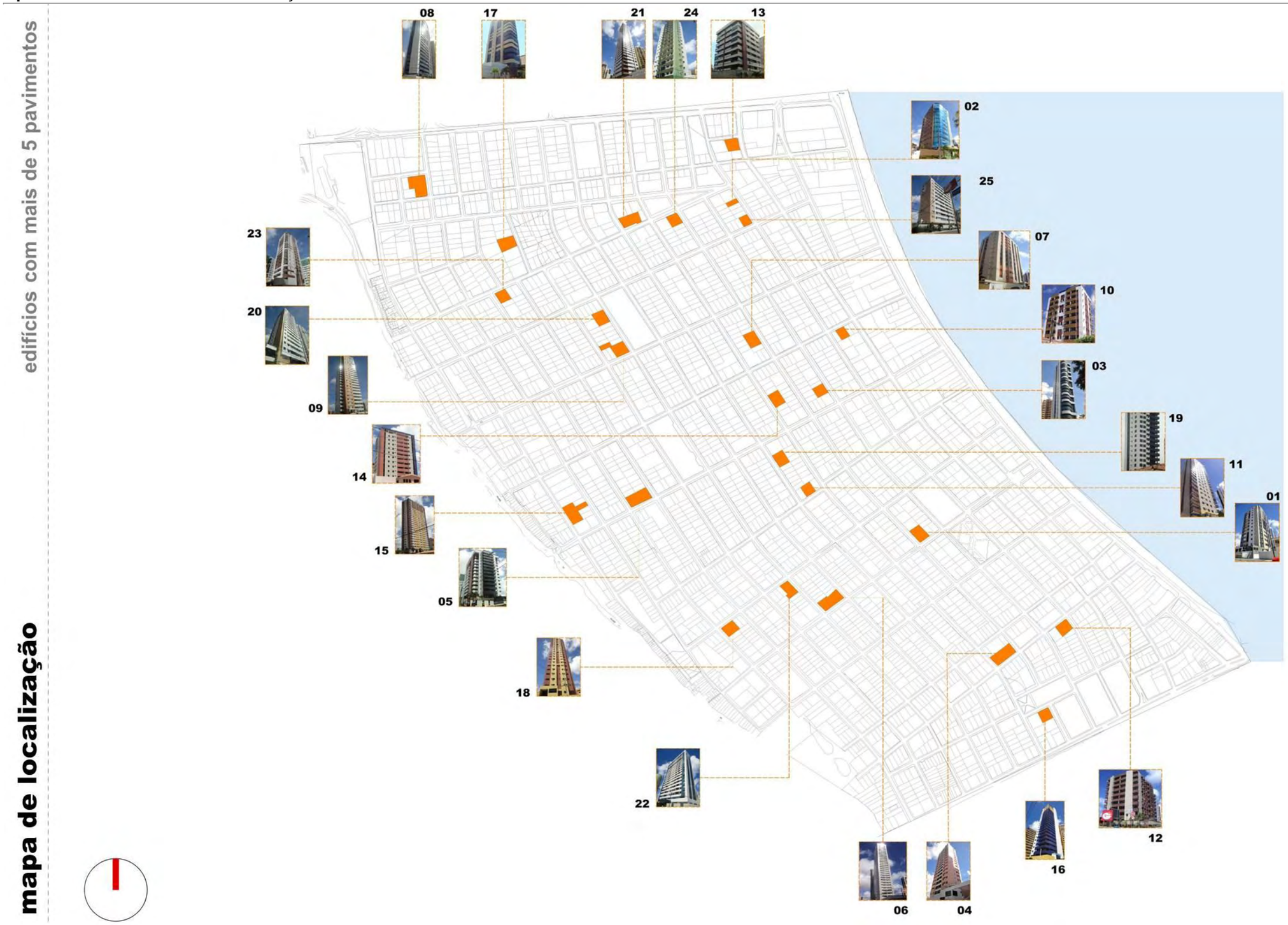
WIENOLD, J. **Daylight Glare in Offices.** Tese de doutorado. Fraunhofer Verlag, Alemanha, 2010.

Apêndice

Apêndice 01 – MAPA DO BAIRRO DE MANAÍRA

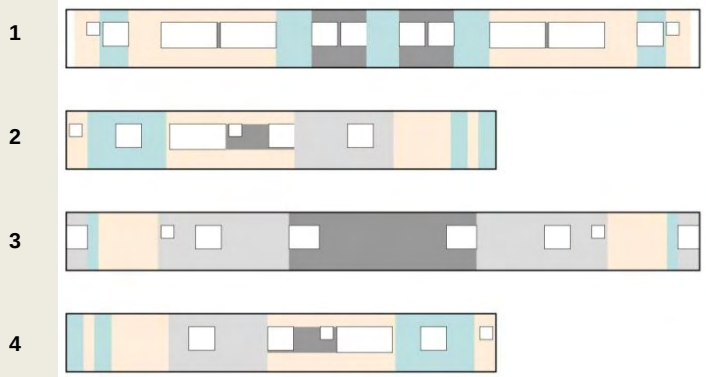


Apêndice 02 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS DA AMOSTRA



Apêndice 03 – COEFICIENTE DE REFLEXÃO MÉDIO

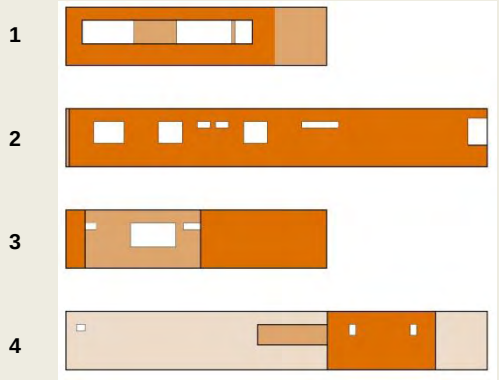
01: RESIDENCIAL PABLO NERUDA



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO				COEFICIENTE
		AZUL	BEGE	PRETO	BRANCO	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	30,23	50,88	3,71	15,19	59,71
2	SUDESTE	27,91	43,30	4,69	24,09	60,94
3	SUDOESTE	3,82	20,99	28,85	46,34	56,19
4	NOROESTE	27,91	43,30	4,69	24,09	60,94
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		42	67,5	10	81	**59,50**

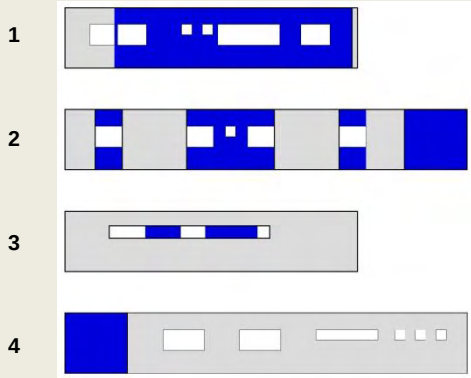
02: EDIFÍCIO RESIDENCIAL ROMAGOLD



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		MARROM	BEGE	BEGE C	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	66,44	33,56	0,00	21,68
2	SUDESTE	99,15	0,85	0,00	20,04
3	SUDOESTE	60,81	39,19	0,00	21,96
4	NOROESTE	25,28	5,80	68,91	34,07
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		20,00	25,00	40,00	**24,44**

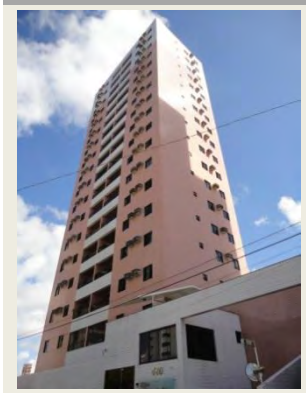
03: VALLE VIZCAIA RESIDENCE

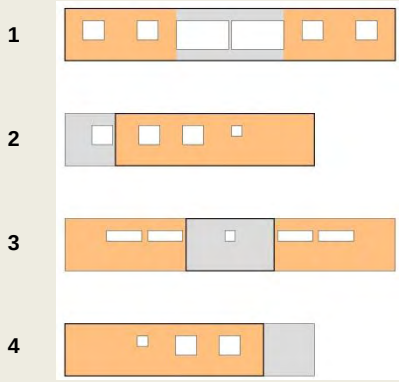


Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		AZUL	BRANCO	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	80,65	19,35	40,27
2	SUDESTE	54,58	45,42	53,44
3	SUDOESTE	93,52	6,48	33,77
4	NOROESTE	17,55	82,45	72,14
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		30,50	81,00	**49,90**

04: EDIFÍCIO RESIDENCIAL PRÍNCIPE DE VENEZA BLOCO A

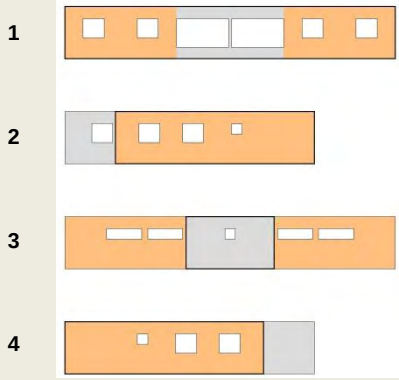




Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		BRANCO	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	20,52	79,48	76,23
2	SUDESTE	19,13	80,87	76,15
3	SUDOESTE	28,61	71,39	76,72
4	NOROESTE	19,13	80,87	76,15
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81,00	75,00	**76,31**

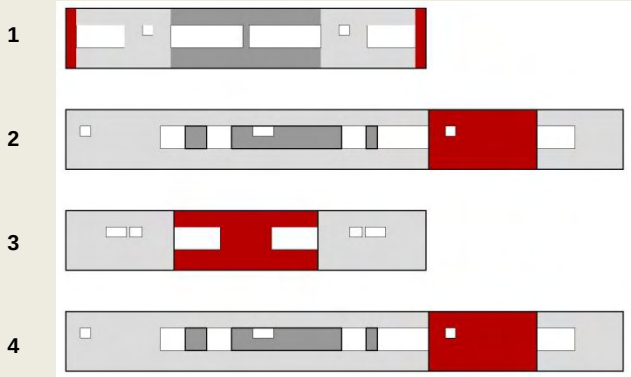
04: EDIFÍCIO RESIDENCIAL PRÍNCIPE DE VENEZA BLOCO B



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		BRANCO	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	20,52	79,48	76,23
2	SUDESTE	19,13	80,87	76,15
3	SUDOESTE	28,61	71,39	76,72
4	NOROESTE	19,13	80,87	76,15
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81,00	75,00	**76,31**

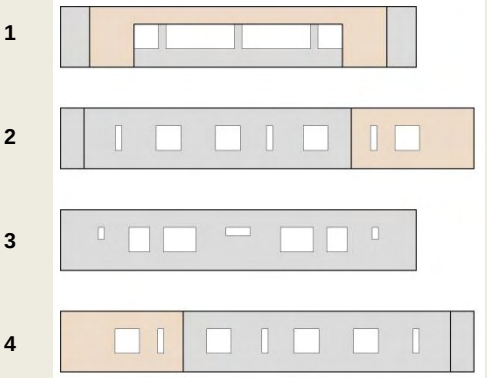
05: CONDOMÍNIO RESIDENCIAL VILLAGE MONTALLO



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		BRANCO	PRETO	VINHO	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	56,21	36,04	7,76	51,07
2	SUDESTE	67,86	10,38	21,75	61,45
3	SUDOESTE	65,27	0,00	34,73	61,55
4	NOROESTE	67,86	10,38	21,75	61,45
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	10	25	**58,88**

06: EDIFÍCIO VALLE VERANO RESIDENCE



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

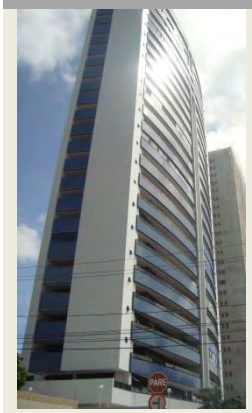
FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		BRANCO	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	46,37	53,63	75,10
2	SUDESTE	69,86	30,14	77,68
3	SUDOESTE	100,00	0,00	81,00
4	NOROESTE	69,86	30,14	77,68
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	70	**77,87**

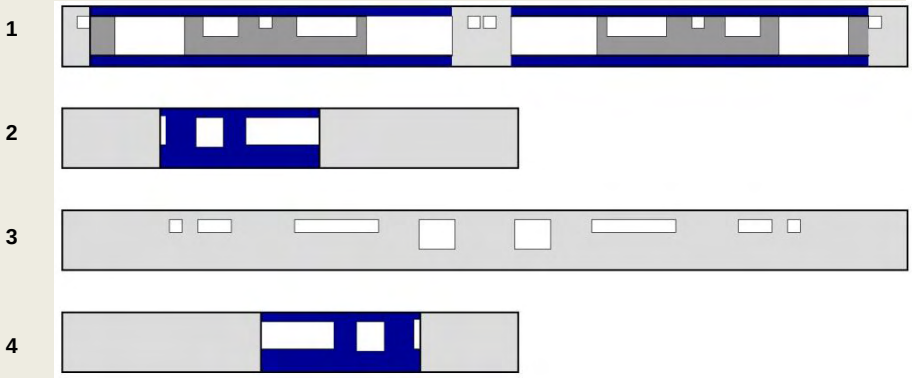
07: EDIFÍCIO RESIDENCIAL BRENNAND

Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		LARANJA	BEGE	PRETO	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	21,09	58,76	20,15	49,51
2	SUDESTE	0,00	87,31	12,69	62,39
3	SUDOESTE	35,01	64,99	0,00	57,74
4	NOROESTE	0,00	87,31	12,69	62,39
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		35	70	10	**58,01**

08: EDIFÍCIO RESIDENCIAL MANAÍRA IMPERIAL

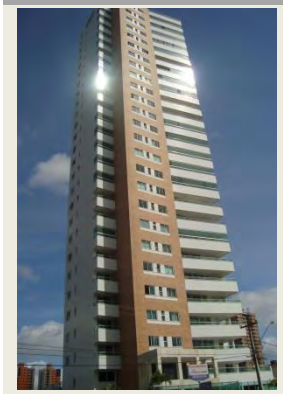


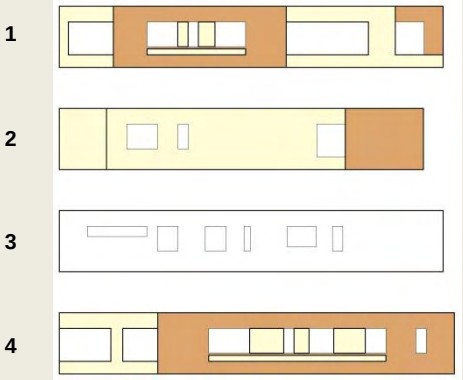


Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		AZUL	BRANCO	PRETO	% ÁREA x %COEF
1	NORTE	42,86	21,05	36,08	31,38
2	SUL	27,01	72,99	0,00	65,88
3	LESTE	0,00	100,00	0,00	81,00
4	OESTE	27,01	72,99	0,00	65,88
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		25	81	10	**61,03**

09: EDIFÍCIO VALLE VALOGNES RESIDENCE

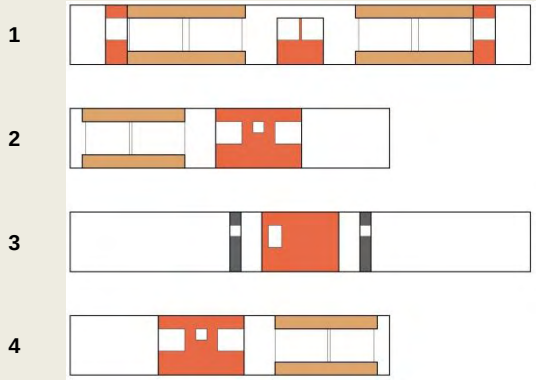




Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		MARFIM	OCRE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	46,27	53,73	56,29
2	SUDESTE	76,01	23,99	69,96
3	SUDOESTE	51,93	48,07	58,89
4	NOROESTE	33,08	66,92	50,22
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	35	**58,84**

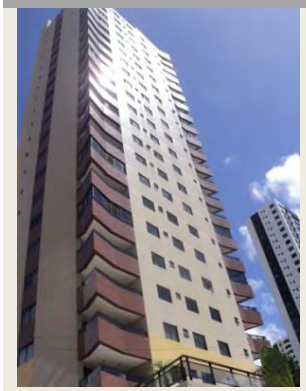
10: EDIFÍCIO MANAÍRA HOME SERVICE

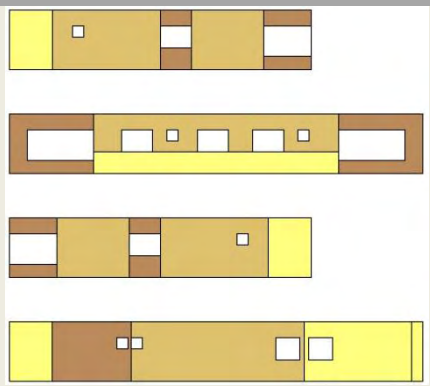


Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO				COEFICIENTE
		BRANCO	OCRE	TELHA	PRETO	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	50,96	33,76	15,28	0,00	57,75
2	SUDESTE	54,98	18,66	26,35	0,00	59,11
3	SUDOESTE	80,03	0,00	15,99	3,98	70,10
4	NOROESTE	54,98	18,66	26,35	0,00	59,11
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	35	30,5	10	**61,52**

11:EDIFÍCIO RESIDENCIAL ADONAI

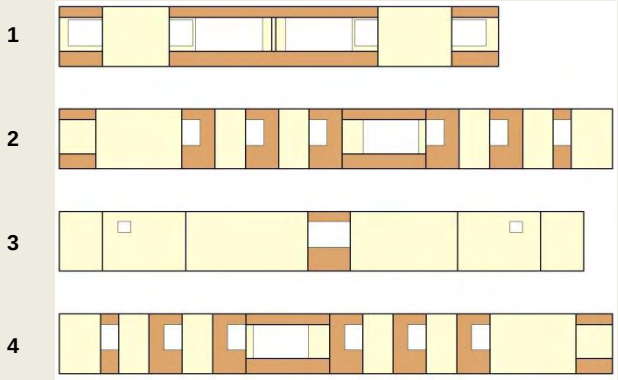




Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		AMARELO	MARROM	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	16,2	15,9	66	63,9
2	SUDESTE	33	18,6	48,4	65,1
3	SUDOESTE	16,2	15,9	67,9	65,2
4	NOROESTE	56,9	28,7	14,4	62,8
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		75,00	35	70	**64,25**

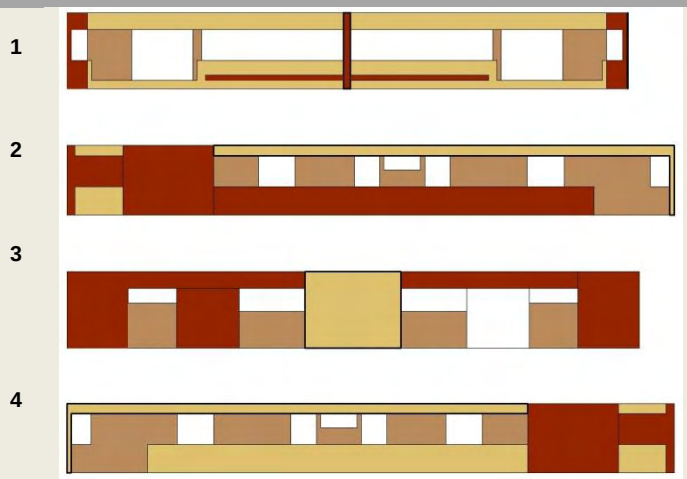
12: RESIDENCIAL RIO MADEIRA



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		MARFIM	OCRE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	59,14	40,86	54,84
2	SUDESTE	60,34	39,66	55,34
3	SUDOESTE	95,14	4,86	69,96
4	NOROESTE	60,34	39,66	55,34
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		72	30	**58,87**

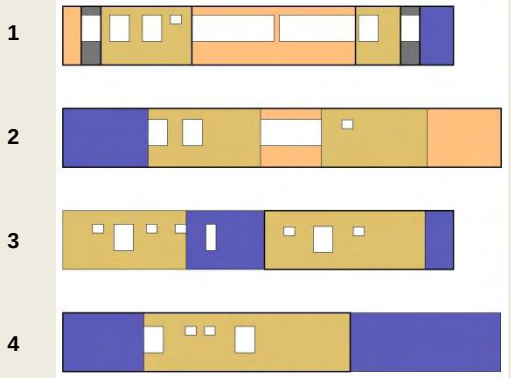
13: IBIZA RESIDENCIAL



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		VINHO	BEGE	MARROM	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	16,46	16,15	67,39	39
2	SUDESTE	34,50	19,49	46,01	38,4
3	SUDOESTE	16,46	16,15	67,39	39
4	NOROESTE	38,91	19,67	46,01	38
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		25	70	35	**38,60**

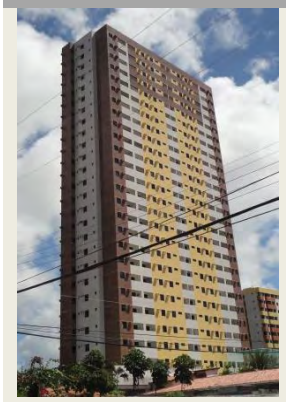
14: RESIDENCIAL QUEEN VICTÓRIA

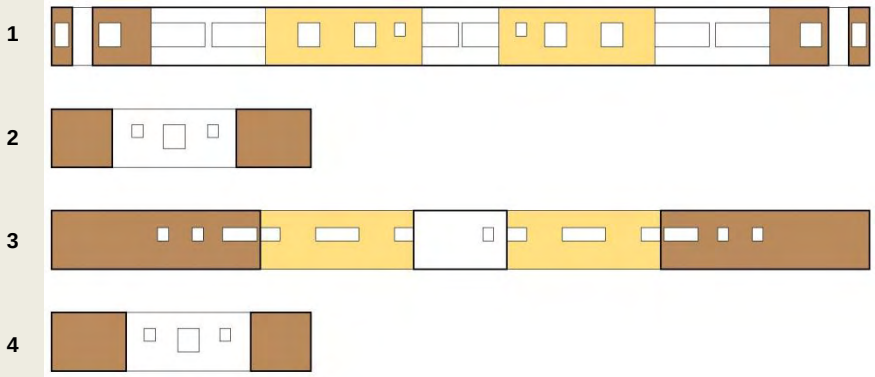


Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO				COEFICIENTE
		ROSA	AZUL	PRETO	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	40,6	12	8	39,40	41,74
2	SUDESTE	27,5	21,7	0	50,80	39,26
3	SUDOESTE	0	28,30	0	71,70	38,49
4	NOROESTE	0	55,5	0	44,5	46,65
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		40	60	81	30	**41,54**

15: EDIFÍCIO COLORADO

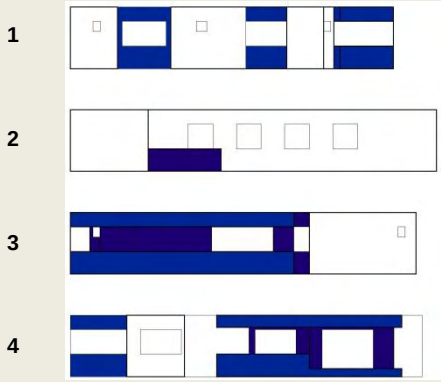




Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		MARFIM	OCRE	AMARELO	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	37,51	20,06	42,43	61,86
2	SUDESTE	45,05	54,95	0,00	52,97
3	SUDOESTE	12,02	52,08	35,90	46,90
4	NOROESTE	45,05	54,95	0,00	52,97
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	30	60	**53,68**

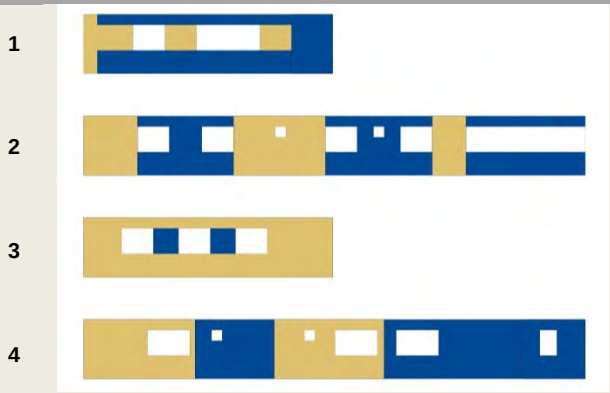
16: CASTEL GANDOLFO RESIDENCE



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		BRANCO	AZUL C	AZUL E	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	68,72	31,28	0,00	74,43
2	SUDESTE	91,84	8,16	0,00	79,29
3	SUDOESTE	36,17	42,96	20,87	59,56
4	NOROESTE	50,90	38,22	10,88	66,50
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	60	21,5	**69,94**

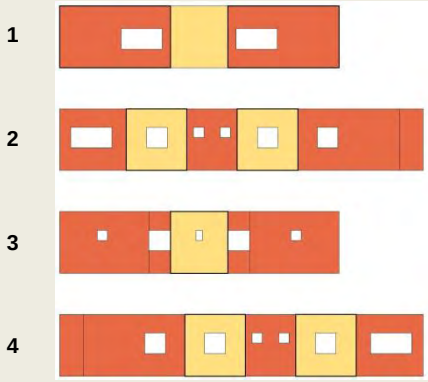
17: EDIFÍCIO VALE VESASCA RESIDENCE



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		AZUL	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	72,9	27,1	51,87
2	SUDESTE	54,7	45,3	46,41
3	SUDOESTE	10,5	89,5	33,15
4	NOROESTE	58	42	47,40
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		60	30	**44,70**

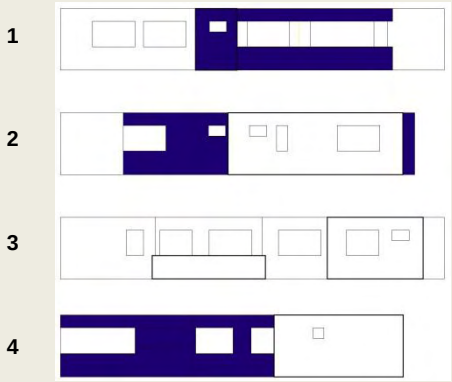
18: RESIDENCIAL PRÍNCIPE DE MÔNACO



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		AMARELO	TELHA	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	22,83	77,17	36,89
2	SUDESTE	32,98	67,02	39,74
3	SUDOESTE	21,68	78,32	36,57
4	NOROESTE	32,98	67,02	39,74
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		58,5	30,5	**38,23**

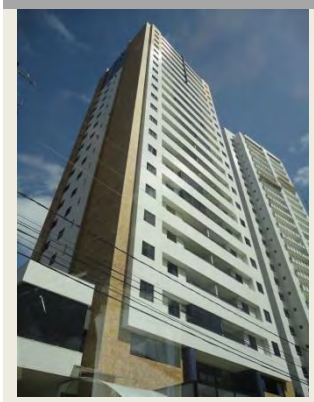
19: EDIFÍCIO TOUR D'ARGENT

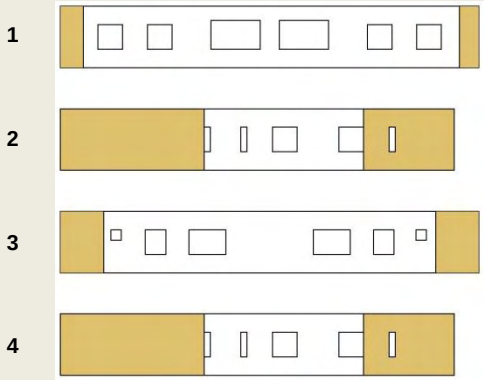


Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		BRANCO	AZUL	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	56,92	43,08	52,57
2	SUDESTE	68,86	31,14	60,45
3	SUDOESTE	100,00	0,00	81,00
4	NOROESTE	44,67	55,33	44,48
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	15	**59,62**

20: EDIFÍCIO VALLE NEVADO RESIDENCE

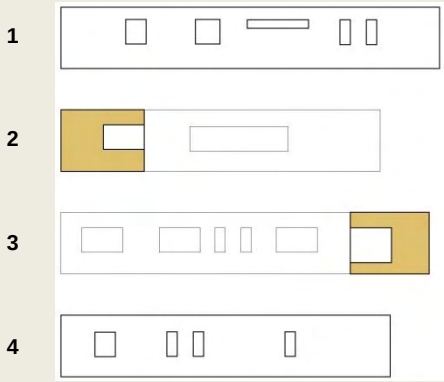




Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		BRANCO	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	87,32	12,68	77,26
2	SUDESTE	36,76	63,24	62,35
3	SUDOESTE	76,56	23,44	74,09
4	NOROESTE	36,76	63,24	62,35
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	51,5	**69,01**

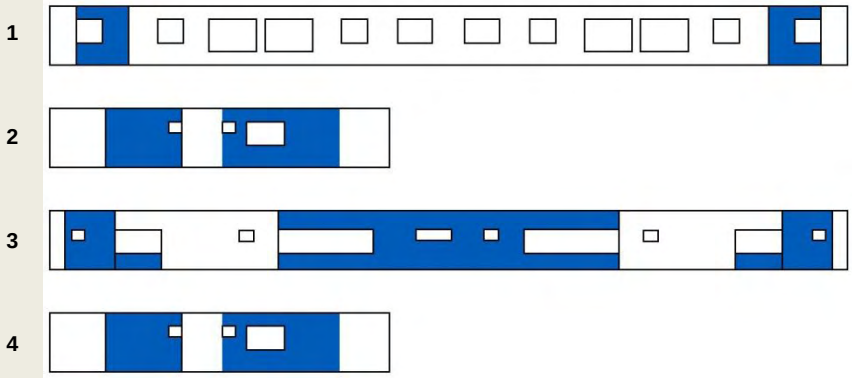
21: EDIFÍCIO ROYAL PALACE



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		BRANCO	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	100,00	0,00	81,00
2	SUDESTE	74,55	25,45	67,00
3	SUDOESTE	80,65	19,35	70,36
4	NOROESTE	100,00	0,00	81,00
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	26	**74,84**

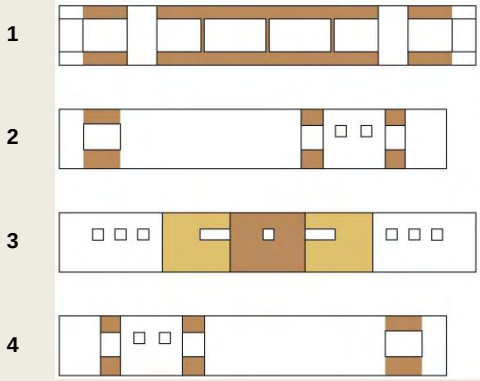
22: EDIFÍCIO ANA RITA



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		BRANCO	AZUL	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	86,22	13,78	72,59
2	SUDESTE	45,77	54,23	47,92
3	SUDOESTE	43,45	56,55	46,50
4	NOROESTE	45,77	54,23	47,92
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	20	**53,73**

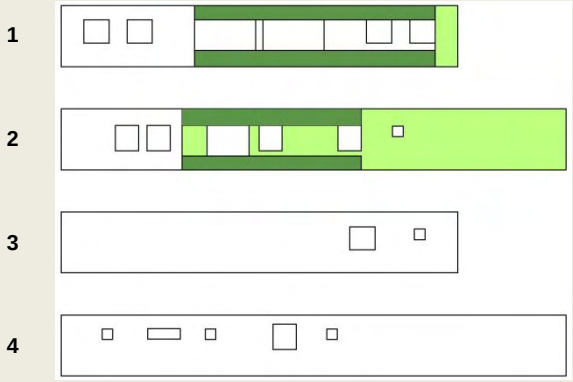
23: EDIFÍCIO DALLAS



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		BRANCO	BEGE	MARROM	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	42,75	0,00	57,25	49,52
2	SUDESTE	87,22	0,00	12,78	73,97
3	SUDOESTE	48,38	32,53	19,09	63,02
4	NOROESTE	84,72	0,00	15,28	72,59
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	58	26	**64,77**

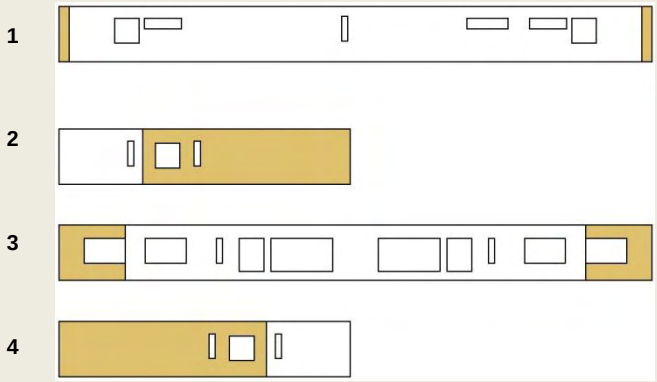
24: EDIFÍCIO BOULEVARD MANAÍRA



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO			COEFICIENTE
		BRANCO	VERDE C	VERDE E	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	51,95	7,61	40,43	53,60
2	SUDESTE	22,24	57,40	20,36	56,49
3	SUDOESTE	100,00	0,00	0,00	81,00
4	NOROESTE	100,00	0,00	0,00	81,00
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	61	17	**68,02**

25: RESIDENCIAL GOLDEN PALACE



Levantamento fotográfico e digitalização das aberturas e fachadas do pavimento tipo

FACHADA	ORIENTAÇÃO	% ÁREA DE REVESTIMENTO		COEFICIENTE
		BRANCO	BEGE	% ÁREA x %COEF
1	NORDESTE	96,06	3,94	79,38
2	SUDESTE	27,32	72,68	51,20
3	SUDOESTE	76,75	23,25	71,47
4	NOROESTE	27,32	72,68	51,20
COEFICIENTE DE REFLEXÃO		81	40	**63,31**

COEFICIENTE DE REFLEXÃO MÉDIO DO BAIRRO	**58,65%**

Apêndice 04 – DESEMPENHO DA LUZ NATURAL

QUADRO SÍNTESE - RESULTADO

Nº	MODELOS			UNIFORMIDADE		FREQUÊNCIA ÚTIL		ÁREA ILUMINADA
	CENÁRIO		ORIENTAÇÃO PAVIMENTO	MÉDIA DA VARIAÇÃO ESPACIAL (MVE)	MÉDIA DA VARIAÇÃO TEMPORAL (MVT)	MÉDIA DE MVE e MVT	MÉDIA DE UDI Útil %	% COM UDI Útil > 75%
1	ISOLADO		SO_TER	1878,82	2040,99	1960	64	50
2			SE_TER	861,01	1209,14	1035	71	67
3			NO_TER	1161,50	1612,04	1387	75	77
4			NE_TER	1084,20	1475,56	1280	71	63
5			SO_INT	1881,34	2045,58	1963	64	50
6			SE_INT	861,38	1205,02	1033	71	67
7			NO_INT	1165,47	1615,14	1390	75	77
8			NE_INT	1076,00	1468,65	1272	71	63
9			SO_COB	1870,71	2012,69	1942	65	50
10			SE_COB	853,84	1189,65	1022	72	67
11			NO_COB	1153,00	1597,66	1375	75	77
12			NE_COB	1078,42	1476,18	1277	71	60
13	REF 60	ATUAL	SO_TER	1186,15	1119,87	1153	64	23
14	REF 60	ATUAL	SE_TER	796,01	906,70	851	68	33
15	REF 60	ATUAL	NO_TER	742,46	918,45	830	71	43
16	REF 60	ATUAL	NE_TER	761,21	1042,14	902	69	43
17	REF 60	ATUAL	SO_INT	1300,48	1413,39	1357	64	50
18	REF 60	ATUAL	SE_INT	805,80	1103,95	955	70	60
19	REF 60	ATUAL	NO_INT	893,15	1222,08	1058	72	63

Continua...

20	REF 60	ATUAL	NE_INT	916,37	1362,36	1139	72	63
21	REF 60	ATUAL	SO_COB	1627,60	1748,86	1688	65	50
22	REF 60	ATUAL	SE_COB	876,79	1249,59	1063	71	73
23	REF 60	ATUAL	NO_COB	1087,03	1543,11	1315	73	77
24	REF 60	ATUAL	NE_COB	1036,76	1621,63	1329	70	67
25	REF 60	PROT 0	SO_TER	1090,06	931,21	1011	59	0
26	REF 60	PROT 0	SE_TER	665,56	687,82	677	65	23
27	REF 60	PROT 0	NO_TER	620,76	690,95	656	64	20
28	REF 60	PROT 0	NE_TER	644,53	809,66	727	57	17
29	REF 60	PROT 0	SO_INT	1172,92	1165,28	1169	64	17
30	REF 60	PROT 0	SE_INT	635,48	848,33	742	68	33
31	REF 60	PROT 0	NO_INT	732,01	939,58	836	67	33
32	REF 60	PROT 0	NE_INT	754,82	1064,14	909	62	27
33	REF 60	PROT 0	SO_COB	1538,84	1558,46	1549	67	57
34	REF 60	PROT 0	SE_COB	728,14	1023,98	876	66	53
35	REF 60	PROT 0	NO_COB	941,90	1265,20	1104	71	60
36	REF 60	PROT 0	NE_COB	904,05	1353,12	1129	70	47
37	REF 60	PROT 50	SO_TER	1070,32	893,54	982	60	0
38	REF 60	PROT 50	SE_TER	628,41	648,21	638	67	33
39	REF 60	PROT 50	NO_TER	590,27	650,62	620	64	27
40	REF 60	PROT 50	NE_TER	612,80	743,93	678	61	17
41	REF 60	PROT 50	SO_INT	1154,36	1143,61	1149	65	33
42	REF 60	PROT 50	SE_INT	612,29	816,29	714	68	50
43	REF 60	PROT 50	NO_INT	713,42	903,64	809	69	50
44	REF 60	PROT 50	NE_INT	727,58	1013,36	870	67	33
45	REF 60	PROT 50	SO_COB	1535,00	1558,71	1547	65	53
46	REF 60	PROT 50	SE_COB	722,04	1021,63	872	68	67

Continua...

47	REF 60	PROT 50	NO_COB	927,22	1241,84	1085	70	67
48	REF 60	PROT 50	NE_COB	905,65	1349,80	1128	72	67
49	REF 60	PROT 100	SO_TER	978,81	812,54	896	55	0
50	REF 60	PROT 100	SE_TER	630,15	651,98	641	60	17
51	REF 60	PROT 100	NO_TER	601,76	649,47	626	55	20
52	REF 60	PROT 100	NE_TER	601,69	704,82	653	63	17
53	REF 60	PROT 100	SO_INT	970,97	983,72	977	65	33
54	REF 60	PROT 100	SE_INT	601,01	806,96	704	66	33
55	REF 60	PROT 100	NO_INT	715,73	896,58	806	61	17
56	REF 60	PROT 100	NE_INT	723,42	987,11	855	68	33
57	REF 60	PROT 100	SO_COB	1312,27	1439,16	1376	67	40
58	REF 60	PROT 100	SE_COB	661,37	946,45	804	71	50
59	REF 60	PROT 100	NO_COB	928,63	1228,75	1079	70	40
60	REF 60	PROT 100	NE_COB	906,39	1341,81	1124	69	43
61	REF 60	PROT 150	SO_TER	1004,66	811,83	908	66	33
62	REF 60	PROT 150	SE_TER	618,08	618,52	618	66	33
63	REF 60	PROT 150	NO_TER	500,15	549,11	525	44	17
64	REF 60	PROT 150	NE_TER	570,86	678,66	625	62	33
65	REF 60	PROT 150	SO_INT	1196,33	1131,40	1164	75	50
66	REF 60	PROT 150	SE_INT	604,41	808,34	706	74	47
67	REF 60	PROT 150	NO_INT	626,70	787,54	707	54	33
68	REF 60	PROT 150	NE_INT	712,07	966,79	839	74	43
69	REF 60	PROT 150	SO_COB	1567,04	1589,10	1578	85	97
70	REF 60	PROT 150	SE_COB	723,94	1015,06	869	84	67
71	REF 60	PROT 150	NO_COB	907,92	1206,40	1057	74	50
72	REF 60	PROT 150	NE_COB	900,06	1319,42	1110	82	67
73	REF 90	PROT 0	SO_TER	1180,66	1119,45	1150	61	0

Continua...

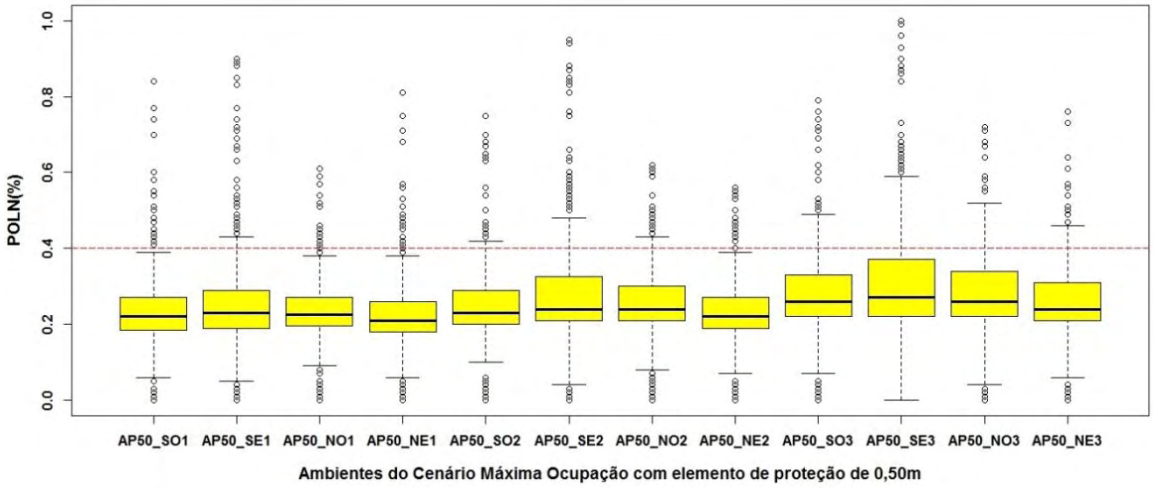
74	REF 90	PROT 0	SE_TER	790,65	894,65	843	66	33
75	REF 90	PROT 0	NO_TER	743,55	915,74	830	66	23
76	REF 90	PROT 0	NE_TER	756,81	1034,67	896	63	27
77	REF 90	PROT 0	SO_INT	1298,67	1413,39	1356	65	33
78	REF 90	PROT 0	SE_INT	806,85	1100,56	954	67	40
79	REF 90	PROT 0	NO_INT	901,10	1233,88	1067	68	40
80	REF 90	PROT 0	NE_INT	913,00	1357,41	1135	67	40
81	REF 90	PROT 0	SO_COB	1634,38	1773,47	1704	65	53
82	REF 90	PROT 0	SE_COB	877,90	1253,34	1066	63	60
83	REF 90	PROT 0	NO_COB	1086,28	1535,43	1311	69	70
84	REF 90	PROT 0	NE_COB	1033,86	1622,71	1328	71	70
85	REF 90	PROT 50	SO_TER	1146,92	1049,45	1098	73	50
86	REF 90	PROT 50	SE_TER	727,45	834,42	781	76	50
87	REF 90	PROT 50	NO_TER	699,19	860,83	780	67	33
88	REF 90	PROT 50	NE_TER	685,53	923,02	804	74	53
89	REF 90	PROT 50	SO_INT	1259,06	1345,22	1302	69	43
90	REF 90	PROT 50	SE_INT	763,02	1056,84	910	72	37
91	REF 90	PROT 50	NO_INT	852,63	1181,34	1017	54	30
92	REF 90	PROT 50	NE_INT	848,63	1262,49	1056	71	33
93	REF 90	PROT 50	SO_COB	1622,33	1228,71	1426	80	67
94	REF 90	PROT 50	SE_COB	856,24	1228,71	1042	79	50
95	REF 90	PROT 50	NO_COB	1058,21	1506,66	1282	69	50
96	REF 90	PROT 50	NE_COB	1001,38	1588,23	1295	80	50
97	REF 90	PROT 100	SO_TER	1032,61	933,20	983	60	7
98	REF 90	PROT 100	SE_TER	719,50	803,12	761	64	27
99	REF 90	PROT 100	NO_TER	673,45	798,19	736	59	17
100	REF 90	PROT 100	NE_TER	655,84	838,93	747	64	20

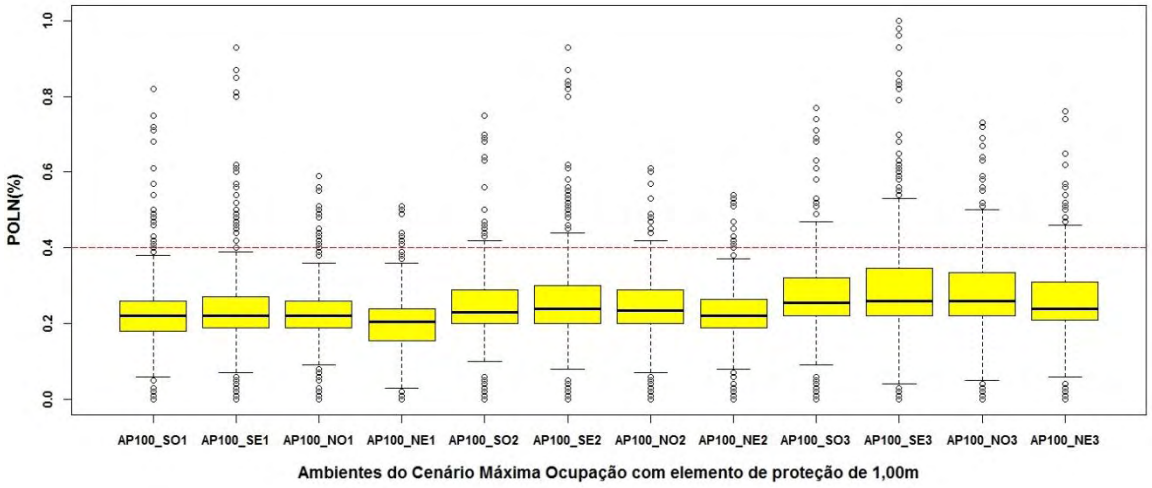
Continua...

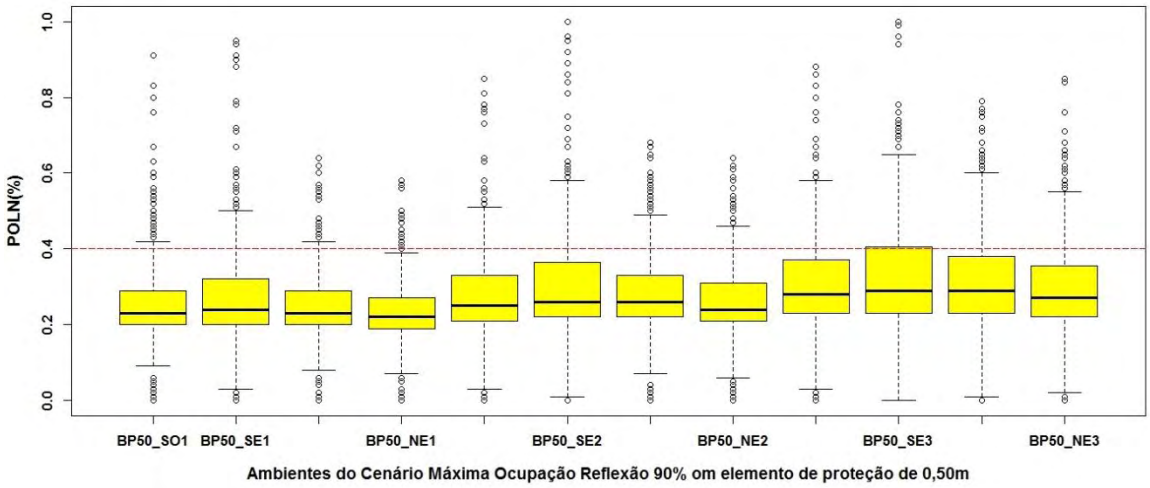
101	REF 90	PROT 100	SO_INT	1066,97	1184,88	1126	66	33
102	REF 90	PROT 100	SE_INT	704,46	978,62	842	69	33
103	REF 90	PROT 100	NO_INT	826,61	1116,40	972	66	33
104	REF 90	PROT 100	NE_INT	808,07	1175,29	992	68	43
105	REF 90	PROT 100	SO_COB	1403,50	1628,28	1516	66	60
106	REF 90	PROT 100	SE_COB	771,90	1118,99	945	71	50
107	REF 90	PROT 100	NO_COB	1040,60	1468,89	1255	72	60
108	REF 90	PROT 100	NE_COB	977,99	1518,54	1248	69	63
109	REF 90	PROT 150	SO_TER	1040,13	877,98	959	69	43
110	REF 90	PROT 150	SE_TER	669,10	705,08	687	72	37
111	REF 90	PROT 150	NO_TER	544,53	625,37	585	54	30
112	REF 90	PROT 150	NE_TER	613,71	770,99	692	71	33
113	REF 90	PROT 150	SO_INT	1256,71	1231,24	1244	80	67
114	REF 90	PROT 150	SE_INT	662,57	903,84	783	79	50
115	REF 90	PROT 150	NO_INT	699,61	934,93	817	69	50
116	REF 90	PROT 150	NE_INT	763,95	1095,81	930	80	50
117	REF 90	PROT 150	SO_COB	607,59	1690,73	1149	87	100
118	REF 90	PROT 150	SE_COB	786,46	1136,89	962	85	90
119	REF 90	PROT 150	NO_COB	982,42	1371,79	1177	82	67
120	REF 90	PROT 150	NE_COB	958,15	1473,57	1216	84	80

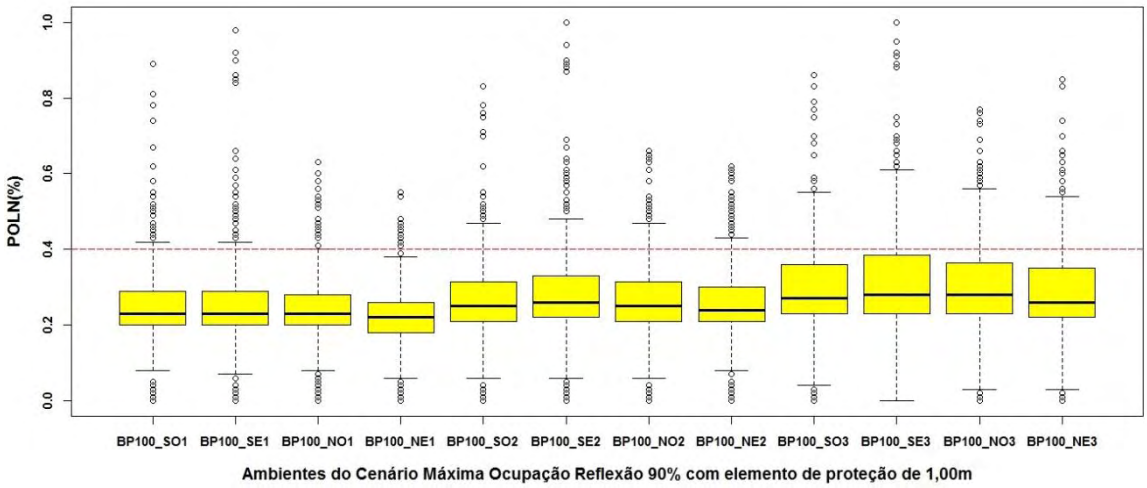
Apêndice 05 – BOXPLOT – GRÁFICO DE CAIXAS

PROBABILIDADE DE OFUSCAMENTO DA LUZ NATURAL (POLN%)






POLN(%)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
BP50_SO1
BP50_SE1
BP50_NE1
BP50_SE2
BP50_NE2
BP50_SE3
BP50_NE3
Ambientes do Cenário Máxima Ocupação Reflexão 90% om elemento de proteção de 0,50m


POLN(%)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
BP100_SO1
BP100_SE1
BP100_NO1
BP100_NE1
BP100_SO2
BP100_SE2
BP100_NO2
BP100_NE2
BP100_SO3
BP100_SE3
BP100_NO3
BP100_NE3
Ambientes do Cenário Máxima Ocupação Reflexão 90% com elemento de proteção de 1,00m