

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

RENATA CAMELO LIMA

**INTERFERÊNCIA DO ENTORNO CONSTRUÍDO NA DISPONIBILIDADE DE LUZ
NATURAL NO INTERIOR DO AMBIENTE NO LITORAL NORTE DE MACEIÓ - AL**

MACEIÓ
2015

RENATA CAMELO LIMA

**INTERFERÊNCIA DO ENTORNO CONSTRUÍDO NA DISPONIBILIDADE DE LUZ
NATURAL NO INTERIOR DO AMBIENTE NO LITORAL NORTE DE MACEIÓ – AL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho Cabús

MACEIÓ

2015

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

L732i Lima, Renata Camelo.
Interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente no litoral norte de Maceió-AL / Renata Camelo Lima. – 2015.
132 f.: il.

Orientador: Ricardo Carvalho Cabús.
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2015.

Bibliografia: f. 116-122.
Apêndice: f. 123-132.

1. Iluminação natural. 2. Verticalização. 3. Espaço urbano – Litoral norte, Maceió. I. Título.

CDU: 72:628.9.021(813.5)

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

Renata Camelo Lima

**INTERFERÊNCIA DO ENTORNO CONSTRUÍDO NA
DISPONIBILIDADE DE LUZ NATURAL NO INTERIOR DO
AMBIENTE NO LITORAL NORTE DE MACEIÓ – AL**

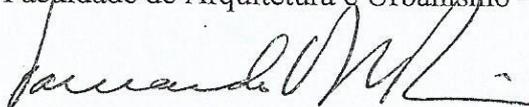
Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU/UFAL, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

APROVADA em 30/03/2015

BANCA EXAMINADORA



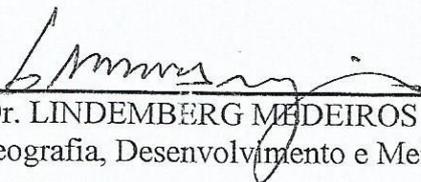
Prof. Dr. RICARDO CARVALHO CABÚS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. FERNANDO OSCAR RUTTKAY PEREIRA
Departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFSC



Profa. Dra. JULIANA OLIVEIRA BATISTA
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL



Prof. Dr. LINDEMBERG MEDEIROS DE ARAÚJO
Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFAL

À minha família
Ao meu futuro marido, Rui Filipe

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pelas bênçãos recebidas, por sempre me guiar e se fazer presente em minha vida.

Aos meus pais, pelo amor e apoio incondicionais, pela paciência e sabedoria nos conselhos, e pelo melhor colo que eu poderia ter.

Às minhas irmãs, por estarem sempre presentes, mesmo à distância. Por sua torcida e por não me deixarem esquecer o quanto sou amada.

A **Rui**, meu grande companheiro, pela paciência e parceria. Pelo amor e admiração, que só aumentam.

À **Jordana Teixeira**, pela amizade e generosidade de dividir comigo momentos de alegria e sucesso. Por ser para mim uma referência pessoal e profissional.

A **Ricardo Cabús**, meu orientador, por ter sido tão importante na minha caminhada como estudante, e na minha formação profissional. Obrigada!

Aos amigos do **GRILU**, grupo de pesquisa do qual participei, por ter sido uma fonte de conhecimento e de apoio muitas vezes necessário para seguir em frente, em especial à **Lidiane** e ao **Pedro Vitor Ribeiro**.

À **banca examinadora**, pela disponibilidade e pelo compartilhamento de conhecimento.

Às amigas de mestrado, em especial à **Renata Costa**, por terem caminhado lado a lado comigo e dividido as alegrias e angústias.

À **CAPES**, pela concessão da bolsa de mestrado, um suporte essencial para a conclusão desta etapa na minha vida.

Ao **DEHA**, nas pessoas dos professores e técnicos, por tornar possível a realização desta pesquisa.

A todos esses e àqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, **muito obrigada**.

RESUMO

LIMA, Renata Camelo. **Interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente no litoral norte de Maceió-AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2014.

Mediante a necessidade de conservação de energia, surge uma maior preocupação com a eficiência energética nos edifícios, através da sua adaptação às condições climáticas do local e da garantia de acesso à luz solar no meio urbano. Ocorre que a disponibilidade da iluminação natural no interior do ambiente sofre significativa interferência das condições de obstrução do entorno construído, deste modo alguns parâmetros urbanísticos e edilícios que são determinados pela legislação urbana para estabelecer limites de ocupação do solo consequentemente, determinam também a obstrução do céu. Deste modo, este estudo objetivou analisar a interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior de edifícios multifamiliares no litoral norte de Maceió, a partir de parâmetros estabelecidos pela regulamentação urbana. Além disso, avaliou-se a contribuição do Plano Diretor e demais regulamentações no favorecimento da disponibilidade de iluminação natural, pois se trata de uma área nova da cidade a ser trabalhada e de grande potencial para o aproveitamento de recursos naturais. A metodologia adotada consistiu em um estudo paramétrico, com a utilização da simulação no software TropLux 6 para estudar a influência dos seguintes parâmetros, relacionados ao entorno construído: largura da via, altura da edificação obstruidora, refletância das superfícies externas verticais, afastamento frontal e lateral e altura do ambiente na edificação. Frente aos resultados obtidos, constatou-se que a presença da obstrução para o caso em estudo, apesar de reduzir na maioria das vezes o nível de iluminação natural no ambiente interno, se mostrou eficaz para o aproveitamento da iluminação natural por manter, na maior parte das horas analisadas durante o ano, os valores de iluminância no intervalo útil de 100 lx a 2.000 lx. Por fim, verificou-se a importância de contemplar de maneira mais específica, no Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió, parâmetros que propiciem de maneira eficaz o aproveitamento da luz natural no interior do ambiente, de modo a contribuir para o controle da disponibilidade da iluminância no ambiente interno e consequentemente a possibilidade de reduzir o consumo de energia elétrica por meio da iluminação artificial.

Palavras-chave: Iluminação Natural. Verticalização. Espaço Urbano.

ABSTRACT

LIMA, Renata Camelo. **The interference of the urban environment on the availability of indoor daylight on the north coast of Maceió-AL.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2014.

By the need for energy conservation, there is a preoccupation on energy efficiency in buildings, by adapting to the local weather conditions and guaranteed access to sunlight in urban areas. It turns out that the availability of indoor daylighting suffer significant interference from the surrounding obstruction in the urban environment. Therefore, some urban and building parameters are determined by the urban legislation to establish land use limits and hence of visible sky. Given these aspects, this study aimed to analyze the interference of the urban environment in the availability of indoor daylight of multifamily buildings in the north of Maceió coast, from urban parameters established by regulation. In addition, we evaluated the contribution of the master plan and other regulations in fostering the availability of natural light, because it is a new area of the city to be worked and great potential for the use of natural resources. The methodology consisted of a parametric study with the use of simulation in TropLux 6 software to study the influence of the following parameters related to the urban environment: the road width, height obstruction, reflectance of the vertical outer surfaces, front and side distance and height in the building environment. Given our results, it was found that the presence of obstruction for the case study, although in most cases reduce the level of indoor daylighting, was effective in the use of natural lighting to maintain, most of the hours analyzed during the year, the illuminance values in the useful range of 100 lx to 2.000 lx. Finally, there was the importance of including more specifically, the Town Planning Code and Construction of Maceió city, parameters that provide effectively the use of natural light inside the environment, contributing to, so in control of the availability of illuminance within the company and consequently the possibility of reducing the consumption of electricity by means of artificial lighting.

Keywords: *Daylighting. Verticalization. Urban Space.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Ministério da Educação e Saúde (atual Palácio Gustavo Capanema), primeira grande edificação que fez uso por completo dos dispositivos de sombreamento.	9
Figura 2- Bairro Ponta Verde em Maceió-AL, edificações com número limitado de pavimentos devido restrição à verticalização na área do cone de visibilidade do Farol da Marinha.	11
Figura 3- Bairro Boa Viagem em Recife-PE, orla marítima com edificações altas e estreitas proporcionalmente.....	11
Figura 4- (a) Renovação de uma casa de fazenda histórica utilizando-se, entre outras estratégias, da criação de novas aberturas e caminhos para a luz natural; (b) Igreja da Água, obra de Tadao Ando, a luz natural é determinante na composição do espaço.....	13
Figura 5- Ângulos de altitude solar (γ), de azimute solar (α) e incidência (θ).	19
Figura 6- Diagrama Solar de Maceió.	19
Figura 7- Céu nublado, céu uniformemente nublado e céu claro respectivamente.....	21
Figura 8- O efeito de uma obstrução em iluminação natural.	22
Figura 9- Dimensões de uma obstrução.	24
Figura 10- Imagens feitas por Mayhoub (2012). A primeira (a) ilustra a área de secção máxima exposta à luz solar e na segunda (b), a planta baixa mostra a influência da espessura da parede sobre a distribuição da luz natural.	25
Figura 11- Principais fachadas do prédio orientadas para o norte e para o sul. Janelas viradas para sul podem ser facilmente sombreadas por beirais. Enquanto que na orientação leste-oeste, as janelas são difíceis de sombrear devido ao baixo ângulo do sol.	26
Figura 12- Diferença entre casas isoladas e edifício vertical residencial.	33
Figura 13- Vista aérea do litoral norte de Maceió, área de expansão do município.	37
Figura 14- Início da provável verticalização no bairro Guaxuma na cidade de Maceió.	37
Figura 15- Área urbana do município de Maceió: zoneamento de uso do solo.	38
Figura 16- Perspectivas: vista superior (a) e fachada (b) do ambiente interno base para simular a disponibilidade de iluminação natural.....	45
Figura 17- Ilustração da planta-baixa do cenário V.01 - 10 pav.	52
Figura 18- Ilustração do perfil do Cenário Base com o ambiente localizado no edifício de 10 pavimentos e a edificação obstruidora com 20 pavimentos.	52
Figura 19- Volumetria do cenário base estudado.	53
Figura 20- Croqui indicando (a) o plano de trabalho à 75 cm do piso e (b) a malha de 48 pontos para simulação.....	55
Figura 21- Ilustração do perfil do cenário: (a) LV.12 - 10_20 pav; (b) LV.14 - 10_20 pav.; (c) LV.18 - 10_20 pav.; (d) LV.29 - 10_20 pav.	59
Figura 22- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com largura de via de 12 m (a), 14 m (b), 18 m (c) e 29 m (d).....	60
Figura 23- Isocurvas de iluminância para os cenários com largura de via de 12 m (acima) e 29 m (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.....	67
Figura 24- Isocurvas de iluminância para os cenários com largura de via de 12 m (acima) e 29 m (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.	68
Figura 25- Ilustração do perfil do cenário: (a) HO - 10_10 pav.; (b) HO - 10_15 pav.; (c) HO - 10_20 pav.	68
Figura 26- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com a altura das obstruções de 10 pav. (a), 15 pav. (b) e 20 pav. (c).	69

Figura 27- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.	76
Figura 28- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.....	76
Figura 29- Ilustração do perfil do cenário: (a) RE - 10_10 pav.; (b) RE - 10_15 pav.; (c) RE - 10_20 pav.	77
Figura 30- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com a altura das obstruções de 10 pav. (a), 15 pav. (b) e 20 pav. (c).	78
Figura 31- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.	83
Figura 32- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.....	83
Figura 33- Ilustração do perfil do cenário: (a) AF- 10_10 pav.; (b) AF- 15_15 pav.; (c) AF- 20_20 pav.	84
Figura 34- Porcentagem de céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com edificações de 10 pav. (a), 15 pav. (b) e 20 pav. (c).	85
Figura 35- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a leste.	89
Figura 36- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a oeste.	89
Figura 37- Ilustração do perfil do cenário: (a) AL - 10_10 pav.; (b) AL- 15_15 pav.; (c) AL - 20_20 pav.	90
Figura 38- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com a altura das obstruções de 10 pav. (a), 15 pav. (b) e 20 pav. (c).	91
Figura 39- Isocurvas de iluminância para os cenários com ocupações de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a leste.	97
Figura 40- Isocurvas de iluminância para os cenários com ocupações de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a oeste.	98
Figura 41- Ilustração do perfil do cenário: (a) HA.1° - 20_20 pav.; (b) HA.10° - 20_20 pav.; (c) HA. 20° - 20_20 pav.	98
Figura 42- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com a altura do ambiente no 1° andar (a), 10° andar (b) e 20° andar (c).....	99
Figura 43- Isocurvas de iluminância para os cenários com o ambiente no 1° andar (acima) e no 20° andar (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.....	105
Figura 44- Isocurvas de iluminância para os cenários com o ambiente no 1° andar (acima) e no 20° andar (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Probabilidade do tipo de céu.....	40
Gráfico 2- Probabilidade do tipo de céu (de hora em hora).....	41
Gráfico 3- Probabilidade do tipo de céu (mensal).....	41
Gráfico 4- Propriedades (transmitância e refletância) do vidro consideradas nas simulações.....	46
Gráfico 5- Iluminância média anual (EMA) no interior do ambiente em função da largura de via.....	60
Gráfico 6- Acréscimo da iluminância média anual (%) em função do aumento da largura da via para a janela orientada a norte, leste, sul e oeste.....	61
Gráfico 7- Diminuição da iluminância média anual devido à presença de obstrução.....	62
Gráfico 8- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a norte das 8h às 16h.....	62
Gráfico 9- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.....	63
Gráfico 10- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a leste das 8h às 16h.....	64
Gráfico 11- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a oeste das 8h às 16h.....	64
Gráfico 12- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias por faixa, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.....	65
Gráfico 13- Influência da largura da via no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as vias de 12 m e 29 m de largura.....	66
Gráfico 14- Iluminância média anual (EMA) no interior do ambiente em função da altura da edificação obstruidora.....	69
Gráfico 15- Variação da iluminância média anual (%) em função do aumento da edificação obstruidora, para janela orientada para norte, leste, sul e oeste.....	70
Gráfico 16- Redução da iluminância média anual entre Cenário sem obstrução e o Cenário com obstrução.....	71
Gráfico 17- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a norte das 8h às 16h.....	71
Gráfico 18- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.....	72
Gráfico 19- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a leste das 8h às 16h.....	73
Gráfico 20- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a oeste das 8h às 16h.....	73
Gráfico 21- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.....	74
Gráfico 22- Influência da altura da obstrução no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as obstruções de 10 e 20 pavimentos.....	75
Gráfico 23- Iluminância média anual (EMA) no interior do ambiente em função da altura da edificação obstruidora.....	78

Gráfico 24- Variação da iluminância média anual (%) em função do aumento da edificação obstruidora, para janela orientada para norte, leste, sul e oeste.	79
Gráfico 25- Redução da iluminância média anual entre Cenário sem obstrução e o Cenário com obstrução.	79
Gráfico 26- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.	80
Gráfico 27- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.	81
Gráfico 28- Influência da refletância especular no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as obstruções de 10 e 20 pavimentos.	82
Gráfico 29- Iluminância média anual no interior do ambiente em função do afastamento frontal dos três tipos de adensamentos.	85
Gráfico 30- Redução da iluminância média anual entre Cenário sem obstrução e o Cenário com obstrução.	86
Gráfico 31- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.	87
Gráfico 32- Influência do afastamento frontal no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as ocupações de 10 e 20 pavimentos.	88
Gráfico 33- Iluminância média anual no interior do ambiente em função do afastamento lateral dos três tipos de adensamentos.	91
Gráfico 34- Redução da iluminância média anual entre Cenário sem obstrução e o Cenário com obstrução.	92
Gráfico 35- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a norte das 8h às 16h.	93
Gráfico 36- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.	93
Gráfico 37- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a oeste das 8h às 16h.	94
Gráfico 38- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a leste das 8h às 16h.	94
Gráfico 39- (a) intervalo abaixo de 100 lx, (b) intervalo de 100 a 500 lx, (c) intervalo de 500 a 2.000 lx e (d) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.	95
Gráfico 40- Influência do afastamento lateral no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as ocupações de 10 e 20 pavimentos.	96
Gráfico 41- Iluminância média anual no interior do ambiente em função das três alturas do ambiente.	99
Gráfico 42- Variação da iluminância média anual (%) em função do aumento da edificação obstruidora, para janela orientada para norte, leste, sul e oeste.	100
Gráfico 43- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a norte das 8h às 16h.	101
Gráfico 44- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.	101
Gráfico 45- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a leste das 8h às 16h.	102

Gráfico 46- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a oeste das 8h às 16h.	102
Gráfico 47- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.....	103
Gráfico 48- Influência do afastamento frontal no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para o ambiente no 1° andar e no 20° andar.....	104

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1 REFERENCIAL TEÓRICO	5
1.1 Iluminação Natural	5
1.1.1 Evolução do Uso da Iluminação Natural na Arquitetura.....	5
1.1.2 Por que Utilizar a Iluminação Natural.....	12
1.1.2.1 Conforto Visual nos Edifícios	14
1.1.2.2 Eficiência Energética.....	15
1.1.3 Como Utilizar a Iluminação Natural	16
1.1.3.1 Formas de Admissão da Luz Natural	17
1.2 Disponibilidade de Luz Natural	18
1.2.1 Fontes de Luz Natural	18
1.2.1.1 Luz Solar Direta	18
1.2.1.2 Luz Difusa do Céu.....	20
1.2.1.3 Entorno Construído	21
1.2.1 Avaliação da Iluminação Natural	28
1.2.2.1 No Ambiente Externo.....	28
1.2.2.2 No Ambiente Interno.....	29
1.2.2 Aferição da Iluminação Natural	31
1.2.3 Iluminação Natural e Normas Edilícias E Urbanísticas	33
1.3 Objeto de Estudo	36
1.3.1 Características Climáticas de Maceió.....	38
2 METODOLOGIA	44
2.1 Características do Ambiente de Referência	44
2.2 Estudo Paramétrico, Baseado nos Instrumentos Normativos do Município	46
2.2.1 Parâmetro: Largura da Via	46
2.2.2 Parâmetro: Altura das Edificações Obstruidoras.....	47
2.2.3 Parâmetro: Afastamentos Frontais e Laterais das Edificações Obstruidoras	48
2.2.4 Parâmetro: Refletância das Superfícies Verticais.....	49
2.2.5 Parâmetro: Altura do Ambiente	49
2.3 Programa de Simulação Computacional: Troplux	52
2.3.1 Simulações Computacionais	53
2.3.1.1 Dias e Horários das Simulações	54
2.3.1.2 Orientações.....	54
2.3.1.3 Local e Tipo de Céu	54

2.3.1.4	Plano de Trabalho e Pontos Seleccionados no Interior do Ambiente para Aferição da Iluminância	55
2.4	Roteiros de Análises e Tratamento dos Dados.....	56
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
3.1	Parâmetro - Largura da Via	59
3.2	Parâmetro – Altura da Edificação Obstruidora.....	68
3.3	Parâmetro – Refletância superfícies externas verticais	77
3.4	Parâmetro – Afastamento Frontal.....	84
3.5	Parâmetro – Afastamento Lateral.....	90
3.6	Altura do ambiente.....	98
	CONCLUSÃO	112
	REFERÊNCIAS	116
	APÊNDICES	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

INTRODUÇÃO

A utilização de iluminação natural em edificações sempre foi importante para compreensão e definição do espaço. A luz natural é tanto um elemento estético de projeto, que trata dos efeitos plásticos de cor, texturas e sombras, quanto elemento técnico, que exige dimensionamento e avaliação de desempenho para atender uma necessidade fisiológica para tarefas visuais ou para sensibilizar o olho humano. A presença de luz natural pode proporcionar uma sensação de bem-estar e promover uma percepção melhor do ambiente e dos objetos através da cor e do contraste. O uso da luz natural na arquitetura pode influenciar na disposição funcional e estrutural do edifício, no conforto visual e térmico dos usuários, no uso de energia na edificação, no tipo e uso de iluminação artificial e dos sistemas de controle associados.

Até o início do século passado, a luz natural era a mais importante fonte de luz na concepção da arquitetura, usada em fábricas, prédios domésticos e públicos, pois não havia outra fonte de luz tão acessível e abundante. No entanto, o surgimento da lâmpada incandescente e em seguida da fluorescente a baixo custo levou à execução de edificações dependentes da energia elétrica para sua iluminação e cada vez menos à adoção de soluções com o uso da luz natural. Para os arquitetos, os sistemas artificiais apresentam-se como a forma mais simples de fornecer a iluminação necessária em ambientes internos, uma vez que um projeto de iluminação natural exige o conhecimento da geometria solar e da disponibilidade e distribuição da luz natural.

Atualmente, mediante a necessidade de conservação de energia, o conceito de eficiência energética tem se destacado na construção civil. Surge assim, uma maior preocupação com a adaptação das edificações às condições climáticas do local e a garantia de acesso à luz solar no meio urbano. Ao considerar que os sistemas de iluminação artificial são responsáveis por uma parcela de 14% do consumo total de energia das edificações residenciais, segundo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL (2007), o aproveitamento da luz natural se torna uma alternativa econômica para a iluminação do interior das edificações. A integração entre a luz natural e a artificial minimiza o desperdício de energia e gastos com instalação e manutenção de equipamentos.

Entretanto, com o aumento da urbanização e conseqüentemente a crescente verticalização nas cidades, a disponibilidade de luz no ambiente interno tem sido prejudicada ou desconsiderada no projeto arquitetônico e urbanístico. As regulamentações urbanas que

ordenam e organizam o crescimento da cidade, a favor do bem estar do usuário e menor impacto ambiental, têm considerado de forma superficial a relação das edificações com o clima local. No Brasil existem climas variados que exigem estratégias bioclimáticas distintas. Desse modo, o planejamento urbano em todo país necessita de parâmetros edilícios e urbanísticos específicos baseados na obtenção de conforto luminoso, térmico e acústico.

Algumas das variáveis externas, determinadas pela regulamentação urbana, que podem interferir no conforto ambiental no interior das edificações são as seguintes: largura e orientação da via, altura das edificações e afastamento entre as construções. Estes parâmetros já foram estudados em relação à disponibilidade de luz no ambiente interno por Brandão e Alluci (2005), Araújo e Cabús (2006), Leder (2007), Scalco (2010) e Laranja (2010), e também em relação à ventilação e acústica no meio urbano por Melo (2009) e Brioschi (2011) respectivamente, o que demonstra a relevância desses aspectos para o planejamento das cidades. Outro aspecto fundamental para disposição de luz natural na edificação é a refletância das superfícies externas, o que geralmente não é abordado pela regulamentação.

No caso da cidade de Maceió, por localizar-se em uma zona tropical úmida e receber uma grande quantidade de radiação solar durante todo o ano, torna-se propícia a utilização de estratégias para o aproveitamento da iluminação natural na arquitetura. Entretanto, o Plano Diretor de Maceió (MACEIÓ, 2005), complementado pelo Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió – Lei Municipal 5.593/07 (MACEIÓ, 2007), não contemplam de maneira específica o uso dos recursos naturais como a luz solar, o que pode causar o aumento do consumo energético principalmente nas áreas mais adensadas, por meio de sistemas artificiais de iluminação e climatização.

A configuração urbana, principalmente nas áreas mais adensadas da cidade, como a orla marítima nos bairros Jatiúca, Ponta Verde e Pajuçara, se diferenciam das demais capitais litorâneas brasileiras por possuir uma paisagem composta por edifícios baixos, largos e próximos um dos outros. O número limitado de pavimentos é consequência da restrição à verticalização na área de interferência do cone do farol da marinha, esta área apresenta em média prédios com até 10 pavimentos. No entanto, no litoral norte de Maceió é permitida a construção de edificações até 20 pavimentos, o que irá proporcionar uma nova configuração da paisagem nesta área.

Por considerar que prédios mais altos podem afetar a disponibilidade de luz natural no interior das edificações, este trabalho pretende avaliar a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente, ao considerar possíveis situações de ocupação, como também a

ocupação máxima do solo permitida pela regulamentação urbana da cidade. Além disso, avaliar a contribuição do plano diretor e demais regulamentações no favorecimento da disponibilidade de iluminação natural no litoral norte, pois se trata de uma área em expansão e de grande potencial para o aproveitamento de recursos naturais.

OBJETIVO GERAL

Analisar comparativamente a interferência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior de edifícios multifamiliares no litoral norte de Maceió, a partir de parâmetros estabelecidos pela regulamentação urbana.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a influência da malha urbana em relação à largura e orientação da via na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno;
- Analisar a influência do entorno construído em relação à altura e aos afastamentos frontal e lateral das edificações obstruidoras na iluminância média interna.
- Analisar a influência da refletância das superfícies verticais externas, a partir de dois tipos de reflexão: difusa e especular, na incidência de iluminação natural no espaço interno.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este documento compõe-se de três seções principais.

Na **seção 1** é apresentado o referencial teórico do trabalho, o qual aborda a iluminação natural na arquitetura e a disponibilidade da luz natural no interior do ambiente e por fim, descreve o objeto de estudo;

A **seção 2** apresenta a metodologia da pesquisa, com a caracterização dos parâmetros a serem estudados, o programa computacional utilizado para obtenção dos dados e a forma de análise e tratamento dos mesmos;

Na **seção 3** são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa, para atendimento de cada objetivo específico proposto.

A **Conclusão** apresenta as principais conclusões do trabalho, bem como as limitações da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre os principais aspectos físicos da luz e os benefícios do aproveitamento da iluminação natural no interior do ambiente, com o intuito de facilitar a compreensão do problema estudado e fundamentar o desenvolvimento da investigação proposta.

Inicialmente, apresenta-se uma rápida retrospectiva histórica do uso da iluminação natural nas construções, sua importância desde os tempos mais remotos até os dias atuais. Abordou-se também a arquitetura no Brasil e em Maceió. Em seguida, apresentam-se as formas de disponibilidade e admissão da iluminação natural, vantagens trazidas com o seu uso e a descrição dos parâmetros urbanos que influenciam na disponibilidade interna da luz natural. Por fim, as técnicas de análise do desempenho da iluminação natural, com destaque para o software TropLux 6, e o método de avaliação da iluminância no interior do ambiente, relevantes para a compreensão da metodologia utilizada e para a análise dos resultados obtidos por meio das simulações computacionais.

1.1. Iluminação Natural

1.1.1. Evolução do Uso da Iluminação Natural na Arquitetura

Os variados propósitos de funcionalidade, estética e simbologia desempenhados e aplicados às aberturas demonstram sua influência na história da arquitetura e como a evolução dos materiais foi e ainda é determinante na geometria e estética dos edifícios. Ao observar os diversos papéis desempenhados pela luz ao longo da história, revela-se o seu poder e a sua beleza na arquitetura. A janela teve como função desde permitir a entrada de luz e ar em construções simples, até iluminar catedrais medievais, igrejas barrocas e muitos outros edifícios privados do século XVIII. A janela tem se desenvolvido ao longo dos séculos, mas seu propósito de permitir a penetração da luz natural no interior do ambiente tem se mantido um dos principais objetivos dessa fonte de luz inesgotável (PHILLIPS, 2004).

As janelas apresentaram conceitos diferenciados para cada localidade e época. No período medieval, por exemplo, a forma e a localização das janelas estavam relacionadas com o papel desempenhado pela iluminação natural, ao passo que, no período do Renascimento a localização e forma das janelas adotaram um papel mais estético, que valorizava a aparência

do edifício visto a partir do exterior. Durante o Renascimento, apesar da inspiração na arquitetura clássica, a luz já não era considerada como um símbolo da presença de Deus, mas como um reforço do sentido da vida. As técnicas de iluminação natural tornaram-se mais sutis e sofisticadas, usadas para enfatizar a forma e dramatizar o espaço (PHILLIPS, 2004).

Há uma grande transformação na arquitetura a partir da Revolução Industrial, que trouxe consigo inovações estruturais com o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias que reduziram significativamente as antigas restrições sobre o tamanho da abertura. Segundo Vianna e Gonçalves (2001), a Revolução Industrial provocou a quebra entre concepção e produção da arquitetura, se preocupava mais com o processo construtivo do que com os resultados da arquitetura, assim a relação direta entre técnica e arte foi rompida. As fachadas foram fixadas à estrutura do esqueleto e não desempenhavam mais uma função estrutural. Isto permitiu uma maior liberdade de composição da fachada e de forma da janela (BAKER; STEEMERS, 2002).

A luz natural sempre foi a principal fonte de iluminação na arquitetura. Apesar do surgimento da iluminação a gás, no século XIX, a arquitetura ainda tinha como premissa utilizar a iluminação natural. A iluminação a gás, devido à fumaça, trazia riscos e problemas ambientais e exigia melhor ventilação natural, o que a tornava cara e uma alternativa inviável. Entretanto, após a introdução da iluminação elétrica, os edifícios se tornaram cada vez mais dependentes da luz artificial, pois sem ela não seria possível iluminar edificações de grandes áreas (LAMBERTS et al., 2004). O fornecimento de energia elétrica passou a ser uma realidade na vida urbana, além de possibilitar o uso da luz elétrica, uma fonte de luz brilhante e limpa, também permitiu o uso de outros materiais elétricos como a máquina de lavar e de costura (BAKER; STEEMERS, 2002).

No século XX, o movimento moderno rompeu com as referências históricas de espaços fechados interiorizados para a desmaterialização, com a dissolução das barreiras físicas e visuais entre interior e exterior. Os avanços tecnológicos, sobretudo identificados com a industrialização, tais como o sistema do ar condicionado, em 1928, a luz fluorescente, em 1938, e os avanços da indústria do vidro, tiveram uma grande influência sobre as possibilidades arquitetônicas e proporcionaram vasta liberdade criativa ao arquiteto. Essas inovações tecnológicas de controle ambiental combinadas com o uso do aço e do concreto resultaram na imediata construção de arranha-céus, que prevalecem nas cidades até hoje, iluminados, aquecidos e resfriados artificialmente, totalmente independentes do clima externo (BAKER; STEEMERS, 2002).

O formalismo *clean* do Estilo Internacional, uma das vertentes do Movimento Moderno, revolucionou os conceitos da arquitetura com suas cortinas de vidro. Esse estilo foi reproduzido em diferentes contextos climáticos como símbolo do poder, sem sofrer readaptações às características culturais e as características do meio ambiente em que estava inserido (LAMBERTS et al., 2004). No entanto, as vantagens dos níveis altos de luz natural em todo o perímetro do edifício foram acompanhadas pelas desvantagens do aumento do brilho, dos ganhos solares excessivos ou das perdas de calor, e pela falta de privacidade. A demanda dos sistemas mecânicos de aquecimento, refrigeração, iluminação artificial e controle da luz natural para suprir os problemas térmicos, de privacidade e excesso de brilho, gerou um grande custo em termos de consumo de energia, além de interferir na intenção arquitetônica de transparência (BAKER; STEEMERS, 2002).

Devido à utilização de pele de vidro por várias partes do mundo, muitos estudos como o de Wong et al. (2008) e Cetiner junto com Ozkan (2005) têm avaliado o impacto desse tipo de fechamento no desempenho térmico e luminoso das edificações e proposto formas de amenizar esses impactos a partir de novas tecnologias mais eficientes energeticamente. Na pesquisa desenvolvida por Wong et. al (2008), no Japão, foi avaliado o potencial dos painéis fotovoltaicos semitransparentes na redução do consumo de energia em função do uso de condicionamento de ar, obtendo-se até 5,3% de economia e iluminação artificial de forma sutil, pois a maior parte da demanda de iluminação residencial ocorre durante a noite. Cetiner e Ozkan (2005) investigaram a adequação de fachadas pele de vidro duplo na cidade de Istambul, em termos de eficiência energética e de custos financeiros, comparando-as a uma única pele de vidro. Concluíram que a fachada de vidro de dupla camada é cerca de 20% mais eficiente em termos energéticos do que a fachada de pele de vidro única.

Diante da comodidade dos sistemas artificiais de iluminação e ar condicionado e pela confiança na tecnologia e no combustível barato, a preocupação com adequação ao clima e aproveitamento de luz natural nos edifícios é deixada de lado pelos arquitetos. A fachada da edificação perde a importância no controle da insolação e da luz natural, principalmente em regiões onde a luz natural direta e o calor são muito intensos. A janela perde a função principal de captar luz natural para ser apenas um elemento de composição de fachada.

Entretanto, com o grande aumento dos preços do petróleo e a crise dos combustíveis na década de 70 e a percepção de que os combustíveis fósseis são um recurso limitado, iniciaram-se os questionamentos sobre essa abordagem arquitetônica com alto consumo energético para sua manutenção. Para solucionar tal crise, agravada com o aumento da

população nos anos 80, era preciso procurar formas de reduzir o consumo de energia elétrica nos edifícios, e uma das maneiras mais óbvias, segundo Phillips (2004), era voltar a incluir o uso de recursos naturais na construção, como a luz solar.

Portanto, desenvolveu-se entre outros movimentos da arquitetura, a chamada arquitetura solar, a qual investiu na incorporação da energia solar aos edifícios, principalmente o recurso da iluminação natural para poupar o uso da energia artificial. Pouco a pouco renasceu a preocupação em integrar a arquitetura com o clima local, em busca do conforto ambiental na habitação, surgiu assim a arquitetura bioclimática. Para Corbella e Yannas (p. 37, 2003):

O objetivo do projeto de arquitetura bioclimática é promover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise da instalação da menor potência elétrica possível, o que também leva à mínima produção de poluição.

De modo a seguir este mesmo conceito de integração dos recursos naturais locais com as construções, a arquitetura sustentável agrega também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, que une os aspectos econômico, social e ambiental.

No Brasil, a arquitetura moderna surge com grande influência da Europa, porém com a preocupação de adequar as construções ao clima. Segundo Corbella e Yannas (2003), durante um curto período que durou um pouco mais de 20 anos, surgiram nos anos 30, os princípios do modernismo, juntamente com sua preocupação com o projeto consciente em relação ao meio ambiente, que foram adotados por muitos arquitetos da época como Lúcio Costa, Niemeyer e outros pioneiros da arquitetura moderna brasileira. O arquiteto que mais influenciou nessa formação do pensamento modernista nos arquitetos brasileiros foi o franco-suíço Le Corbusier, com suas inovações arquitetônicas, como cita Lamberts (2004), o esqueleto estrutural, a planta livre, terraço-jardim, os pilotis e também elementos de controle da luz natural como os *brises*.

Le Corbusier começava a estabelecer novas posturas no ato de projetar ao buscar na luz natural, entre outros aspectos, uma arquitetura com consciência do meio ambiente. Com isso, por meio de arquitetos como Lúcio Costa, inserem-se na arquitetura brasileira novas formas arquitetônicas, que utilizam os próprios componentes aplicados na edificação como estratégias para o controle da iluminação natural e insolação no ambiente interno. É o caso do edifício do Ministério da Educação e Saúde (atual Palácio Gustavo Capanema, Figura 1), no Rio de Janeiro, resultado do trabalho de um grupo de arquitetos liderados por Lúcio Costa, que retoma a importância do controle solar através da utilização de placas verticais e dos

brises. Este elemento foi amplamente aplicado às fachadas dos edifícios modernistas no Brasil como elementos de proteção da incidência solar direta e controle da iluminação natural, como aponta Gutierrez e Labaki (2005).

Figura 1- Ministério da Educação e Saúde (atual Palácio Gustavo Capanema), primeira grande edificação que fez uso por completo dos dispositivos de sombreamento.



Fonte: www.veja.abril.com.br

No Brasil, se por um lado constatava-se na arquitetura modernista de Le Corbusier a presença de elementos de adequação ao clima tropical, por outro se observava também edificações com fachadas de vidro, expostas à insolação direta sem nenhum tipo de tratamento para controle da luz natural. A adoção, na arquitetura brasileira, do Estilo Internacional, na intenção de demonstrar abundância de tecnologia e poder econômico, desconsiderou a questão ambiental nas construções. O uso de fachadas totalmente envidraçadas, verdadeiras estufas pelo excesso de insolação, gerou sérios problemas do ponto de vista de manutenção do conforto térmico e luminoso, pois dependiam do alto consumo de energia elétrica pelos sistemas artificiais de refrigeração e iluminação, como aponta os estudos realizados por Santos (2010) e Saldanha (2012).

Devido à crise energética de 2001, a atual condição de redução do consumo de energia e a busca de construções sem uma forte dependência dos sistemas convencionais de energia, se tornou necessário o desenvolvimento de uma arquitetura voltada ao meio ambiente. Uma das soluções adotadas por alguns arquitetos é a arquitetura bioclimática. Atualmente, vários trabalhos como o de Almeida (2009) e Ciampini et al., (2005) apresentam essa preocupação com uma arquitetura que proporcione baixo consumo de energia e coerência com as

condições ambientais. Fato que demonstra o recente interesse pela diminuição do impacto ambiental causado pela geração de energia elétrica, a busca por sistemas mais eficientes energeticamente e projetos sustentáveis. Isso estimulou um maior interesse no aproveitamento da luz natural na arquitetura, em especial no setor residencial que segundo Lamberts (2004), apresenta crescente consumo de energia no país.

Na cidade de Maceió, observa-se um crescimento urbano na região litorânea, com a expansão do número de edificações residenciais e comerciais com múltiplos pavimentos. A arquitetura na capital alagoana traz influência das casas coloniais, com a presença de varandas para proteção da chuva e controle da luz natural, como também do Estilo Internacional, caracterizado muitas vezes por fachadas com grandes áreas envidraçadas e ausência de protetores solar. De acordo com Barbosa (2009), em Maceió, encontram-se três posturas arquitetônicas distintas em relação ao clima e ao desempenho ambiental das edificações: por um lado a que prioriza estratégias passivas, por outro a que utiliza sistemas artificiais para garantir o conforto ambiental e por fim a que utiliza sistemas híbridos, que une o meio ambiente e a tecnologia.

Nos bairros de Ponta Verde e Jatiúca, localizados na orla marítima, se concentra um grande número de edificações multifamiliares. São edificações que se caracterizam pelo número limitado de pavimentos, em torno de 10 pavimentos. Essa limitação traz um aspecto peculiar na configuração urbana da orla marítima de Maceió, com a predominância de prédios baixos e largos próximos um dos outros (Figura 2), diferente da orla de Recife, por exemplo, que apresenta prédios mais altos e estreitos proporcionalmente (Figura 3). Barbosa (2009) ressalta que grande parte desses edifícios em Maceió possui três a quatro apartamentos por pavimento, o que geralmente compromete o desempenho térmico e luminoso de um ou dois apartamentos por andar, prejudicados pela pouca ventilação natural e exposição à radiação solar direta.

Figura 2- Bairro Ponta Verde em Maceió-AL, edificações com número limitado de pavimentos devido restrição à verticalização na área do cone de visibilidade do Farol da Marinha.



Fonte: www.wikimapia.org

Figura 3- Bairro Boa Viagem em Recife-PE, orla marítima com edificações altas e estreitas proporcionalmente.



Fonte: www.aquiboaviagem.com.br

Com o aumento da urbanização em Maceió, principalmente na planície litorânea, tem sido crescente o aumento da verticalização, pela comodidade e proximidade de comércios e serviços em geral. Além de ser o foco do mercado imobiliário, este procura aproveitar ao máximo a área edificável dos terrenos. Essa tipologia de edificação traz consigo algumas limitações que diferem dos edifícios térreos, como a menor flexibilidade para aproveitar os recursos naturais de ventilação e iluminação.

Diante da busca pela conscientização em relação ao consumo de energia e conservação do meio ambiente, se torna indispensável considerar no projeto arquitetônico e urbanístico os recursos naturais de ventilação e iluminação. Segundo Moraes e Scarazzato (2003), em decorrência da omissão da legislação, da carência de estudos, de uma melhor formação profissional, bem como de mitos que cercam a questão, o projeto de edifícios e o desenho das cidades, no Brasil, muitas vezes ignoram, por completo, os benefícios da ventilação e iluminação natural.

1.1.2. Por que Utilizar a Iluminação Natural

A energia solar é permanente e abundante, é uma fonte de energia renovável que não polui e traz benefícios para o ecossistema. A luz natural, quando difundida na atmosfera, torna-se uma importante fonte primária na iluminação dos espaços. Além disso, a maior parte da percepção do homem é visual. Sobretudo, a iluminação natural é a única fonte de luz que responde de forma completa às exigências do sistema visual humano, pelo qual passa a maior quantidade de estímulos e informações que se recebe do ambiente. A visão, mais do que os outros sentidos, está associada ao raciocínio analítico, afirma Schmid (2005).

A iluminação é um dos requisitos mais importantes do ambiente interno, pois é através da luz que é possível visualizar o espaço. Além de ser condição essencial para o desempenho das atividades cotidianas, para Moore (1991), há duas possibilidades para atender a essa demanda, ou com a luz do dia, ou com iluminação elétrica e em sua opinião as duas opções não são equivalentes. A iluminação artificial pode ser controlada e ter a sua qualidade e quantidade definida, porém Moore (1991) apresenta algumas vantagens que a luz natural oferece: ela é fornecida por uma fonte de energia renovável é mais consciente ambientalmente e a luz do dia apresenta uma excelente eficácia luminosa, de modo que somente as melhores fontes de luz artificial podem competir com ela.

Na arquitetura, é importante o contato do usuário com o ambiente externo através das aberturas para que haja uma orientação temporal, como também conforto visual e condições sanitárias. Para Baker e Steemers (2002), quando se permite que os usuários mantenham contato com os eventos externos, de forma consciente ou inconsciente, além de receber os estímulos relacionados às condições ambientais, eles também se tornam cientes de seu contexto social.

Quando aplicada de modo a atender as necessidades psicológicas e fisiológicas, a luz natural produz ambientes confortáveis, agradáveis, e produtivos. Em estudos como o desenvolvido por Lau et al. (2013), atenta-se para as preferências dos usuários em relação ao acesso a luz natural em um ambiente de alta densidade urbana, a fim de proporcionar melhor iluminação para as edificações residenciais. Os resultados mostraram que a maioria dos participantes preferiu o acesso à luz solar pela manhã. Observou-se também que havia uma necessidade de melhorar o acesso à luz natural, em termos de tempo de luz solar disponível no espaço interno, uma vez que menos de 40% dos entrevistados tiveram acesso à luz solar no interior dos apartamentos quando eles precisavam.

A radiação ultravioleta, que faz parte do espectro que compõe a radiação solar, é responsável, entre outros aspectos, pela desinfecção do ar e das superfícies devido ao seu alto poder germicida. Uma pesquisa realizada durante uma investigação de síndrome do edifício doente, apresentada por Baker e Steemers (2002), que relaciona a proximidade das janelas e insatisfação dos ocupantes com o prédio, comprovou-se que área mais distante das janelas apresenta um elevado número de sintomas como diminuição de concentração, coceira nos olhos, entupimento do nariz ou coriza, entre outras queixas respiratórias, sintomas que geralmente desaparecem ao sair do edifício. Apesar de compreender apenas seis edifícios, este estudo demonstra a forte correlação entre o valor fisiológico e psicológico, combinado com a saúde humana da proximidade com as janelas.

Além do olho humano se adaptar melhor à luz natural do que à artificial, a luz natural proporciona uma melhor reprodução das cores e varia ao longo do dia. Tais características valorizam a riqueza das cores e o contraste dos objetos iluminados. Além disso provocam efeitos estimulantes e dinâmicos, afasta a sensação de monotonia e insensibilidade normalmente fornecida pela luz artificial (CORBELLA; YANNAS, 2003). Muitos arquitetos usam a luz natural para agregar valor ao espaço arquitetônico, ao criar atmosferas agradáveis e expressivas (Figura 4 (a) e (b)).

Figura 4- (a) Renovação de uma casa de fazenda histórica utilizando-se, entre outras estratégias, da criação de novas aberturas e caminhos para a luz natural; (b) Igreja da Água, obra de Tadao Ando, a luz natural é determinante na composição do espaço.



(a)



(b)

Fonte: www.talk.arkpad.com.br; www.ignezferraz.com.br.

1.1.2.1. Conforto Visual nos Edifícios

O conforto visual é o principal condicionante no que diz respeito às necessidades de iluminação no interior dos edifícios. Neste caso o conforto está relacionado com ver bem. De modo a proporcionar um ambiente visual adequado, a luz no ambiente interno tem de cumprir certos requisitos definidos por normas, para alcançar um bom nível de iluminação, para que as tarefas visuais sejam executadas sem esforço e sempre ter em conta que o espaço deve ser visto sem dificuldade e sem cansaço visual. Pais (2011), no seu estudo sobre conforto visual em ambientes de escritório, concluiu que algumas das causas para o desconforto visual foram os valores de iluminância inferiores aos valores recomendados e a presença de brilhos e reflexos. Juntamente com o conforto acústico e o térmico, o conforto luminoso é um contributo para a sensação global de conforto e de habitabilidade, portanto o seu domínio é fundamental para a obtenção de uma edificação confortável para seus usuários (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Um bom sistema de iluminação, seja natural ou artificial, deve fornecer valores de iluminância adequados e uma boa distribuição da luz no plano de trabalho para um bom atendimento das atividades desenvolvidas no ambiente, de modo a satisfazer a maior parte possível das necessidades visuais dos usuários. Devem considerar algumas propriedades relacionadas à visão, tais como acuidade e desempenho visual, adaptação e ofuscamento. Para satisfazer tais requisitos são necessários valores determinados de iluminâncias. Com isso, no Brasil, a Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) recentemente publicou a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), que especifica os requisitos de iluminação para ambientes internos de trabalho e substitui a norma NBR 5413 (ABNT, 1992). Nesta norma os valores recomendados consideram os requisitos de segurança, saúde e um desempenho eficiente das tarefas visuais por parte dos usuários.

As condições de conforto visual, como sintetiza Schmid (2005), se baseiam no ajuste dos níveis absolutos e relativos de brilho dos objetos para atender às atividades desempenhadas nos ambientes. Normalmente, as fontes de luz não servem para ser vistas, mas para iluminar os outros materiais. Busca-se uma iluminação que não incomode ou cause dor à visão do usuário, para se conseguir ver mais daquilo que cada tarefa exige e menos daquilo que desvia a atenção da tarefa.

1.1.2.2. Eficiência Energética

Diante das necessidades atuais de redução do consumo de energia elétrica, há o aumento da quantidade de projetos que buscam a integração do sistema de iluminação natural com o artificial, não apenas por razões de eficiência, mas também de conforto e estética. A utilização eficiente qualitativamente e quantitativamente de sistemas integrados de iluminação natural e artificial evita o desperdício de energia elétrica, proporciona o retorno do investimento inicial em sistemas tecnologicamente eficientes, devido à diminuição de gastos com a energia elétrica, além de proporcionar ao usuário um ambiente agradável e confortável (LAMBERTS et al., 2004).

A partir da crise energética de 2001, o Governo Brasileiro tem estimulado, por meio da lei 10.295/1 (BRASIL, 2001), programas que promovam a eficiência energética dos edifícios, em parceria com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL. Diante deste contexto, entrou em vigor em 2012, pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R. É de caráter voluntário, entretanto, espera-se que com sua divulgação e futura obrigatoriedade haja uma tendência a melhorar a eficiência energética das edificações que o regulamento contempla.

Um dos fatores avaliados pelo RTQ-R (BRASIL, 2012) é a iluminação natural, relacionada com o percentual de abertura da fachada, no qual a área da abertura deve corresponder a um determinado valor percentual da área útil do ambiente para obtenção dos níveis mais elevados de eficiência. Também é considerada a eficiência do sistema de iluminação artificial através de bonificações, que tem como referência a eficiência luminosa do sistema instalado e a presença do Selo Procel.

Compete aos arquitetos e engenheiros projetar de forma consciente e responsável em relação aos recursos naturais, a fim de propor soluções mais eficientes energeticamente para os edifícios. A radiação solar é uma importante fonte de energia, mas age como fonte de luz e como fonte de calor, exigindo, assim, cuidado com os ganhos térmicos no interior das edificações para não causar desconforto ao usuário. Lam (2000), em seu estudo realizado em uma edificação multifamiliar localizada em Hong Kong, verificou que o ganho de calor solar através das janelas foi de 45% da carga total de resfriamento, ou seja, 45% do consumo de energia com o ar condicionado era usado para remover o ganho de calor através das janelas do edifício.

Portanto, uma solução ideal para o projeto de edificações em locais como Maceió, que possui clima quente e úmido, é integrar a iluminação natural com os sistemas artificiais de iluminação para promover a eficiência energética da edificação, verifica Albuquerque (2010). No estudo realizado por Castanheira (2012), em edificações não residenciais, o aproveitamento da luz natural proporcionou uma redução de 20% a 83% no consumo de energia elétrica por parte da iluminação artificial. No caso de edifícios residenciais, para Vianna e Gonçalves (2001), o potencial de economia é menor que em edificações comerciais, mas um adequado aproveitamento da luz do dia pode resultar num grande impacto na qualidade dos espaços e no bem estar do usuário.

1.1.3. Como Utilizar a Iluminação Natural

O recente resgate pelas questões ambientais, e a busca pela eficiência energética e conforto ambiental têm incentivado o uso da luz natural nos edifícios, como também o progresso significativo dos sistemas de controle da iluminação natural. Isto inclui componentes de projeto inovadores e novos materiais. Nos projetos arquitetônicos, em regiões do clima quente e úmido, inúmeras são as oportunidades para otimizar o uso da luz natural.

O projeto de iluminação natural geralmente é tarefa dos arquitetos, e segundo Majoros (1998), precisa considerar alguns aspectos, tais como: as fontes e as características da luz natural; as variadas formas de aberturas e suas características; as características da iluminação natural produzida por diferentes aberturas e a relação entre as condições externas e internas de iluminação. Phillips (2004) enumera quatro estratégias para projetar com aproveitamento da luz natural:

1. Avaliar a localização do edifício e as características do local, ao observar a orientação, a trajetória do sol e a localização de edifícios ou paisagem existente no entorno.
2. Considerar a função do edifício, assim, pode-se determinar as dimensões da sala, alturas e subdivisões que atendam as necessidades presentes e futuras de ocupação.
3. Determinar o tamanho da janela e a disposição. Para Phillips (2004), esta é a decisão de projeto mais complicada, uma vez que deve agregar todos os fatores para o conforto do usuário, tais como a visibilidade do exterior, controle de ganho e perda de calor e a eliminação de ofuscamento, bem como as necessidades básicas da visão funcional. Ao mesmo tempo em que essas duas características da janela são

importantes para composição estética da envoltória, também é determinante para o sucesso da abordagem de iluminação natural. Vale ressaltar a importância da especificação dos materiais que compõem as janelas, o que inclui a natureza do vidro, o seu valor de transmissão e outras características.

4. Finalmente, definir sistemas de controle. Em primeiro lugar, os controles que se relacionam com a condição externa, o controle da luz solar e a eliminação do excesso de brilho. Em segundo, a integração da luz do dia com o sistema de iluminação artificial, que será fundamental para obter as possíveis economias de energia elétrica.

Corbella e Yannas (2003) acrescentam, além dos aspectos citados acima, a determinação da geometria e das cores das superfícies internas, de maneira a conseguir uma distribuição homogênea da luz no ambiente. Todas essas decisões de projeto devem levar em conta tanto as possibilidades estruturais, quanto os custos de construção e manutenção, a fim de garantir um adequado funcionamento da edificação.

1.1.3.1. Formas de Admissão da Luz Natural

É preferível que o uso da iluminação natural e o seu cálculo para o aproveitamento na arquitetura sejam condicionantes na elaboração do projeto arquitetônico, pois assim, é mais provável alcançar um bom projeto de iluminação natural, na busca do aproveitamento e controle da luz disponível, além de valorizar suas vantagens e reduzir as desvantagens. Adotada ainda no princípio da elaboração do projeto, as estratégias de aproveitamento da luz natural tendem a atingir uma melhor qualidade do que em reformas, além de haver uma maior harmonização dos elementos construtivos, como as janelas, com o volume total da edificação.

A janela é o meio mais comum de admissão da luz diurna no interior dos edifícios. Apesar de permitir a ventilação natural, por se tratar geralmente da interface mais sensível de separação do meio interno com o externo, permite também trocas térmicas e acústicas. (BAKER et al., 1993). A iluminação lateral vai variar de acordo com as dimensões das aberturas laterais, ou seja, quanto maior a abertura, maior a quantidade de luz admitida. Uma boa iluminação lateral envolve um adequado dimensionamento das janelas em relação ao ambiente, características de cada tipo de fechamento, orientação geográfica dos edifícios e quantidade de luz refletida das superfícies externas e internas (GHISI et al., 2005). Os sistemas laterais são caracterizados por não apresentar uma uniformidade em termos de distribuição da luz pelo ambiente.

Na arquitetura existem diversos tipos de elementos que podem ser utilizados para otimizar o aproveitamento da luz natural, desde os mais simples, como prateleiras de luz, até tecnologias mais sofisticadas, como dutos de luz (*light pipe*) e venezianas espelhadas. Cabe a estes dispositivos a função de controlar a quantidade e qualidade da luz natural desejada para a execução das tarefas previstas no interior da edificação.

1.2. Disponibilidade de Luz Natural

Para o desenvolvimento do projeto arquitetônico com o aproveitamento da iluminação natural é importante conhecer, entre outros fatores, as condições luminosas da abóbada celeste do local, influenciada inicialmente pela condição de céu predominante. Outro fator que também pode interferir na obtenção de luz natural no ambiente interno é o seu entorno imediato natural e construído, sua configuração morfológica e a refletância das superfícies (MAJOROS, 1998), além da orientação, as dimensões e formas da edificação (ORAL et al., 2004). A seguir, será tratado especificamente da contribuição das fontes de luz natural e do entorno construído na disponibilidade de luz no ambiente interno.

1.2.1. Fontes de Luz Natural

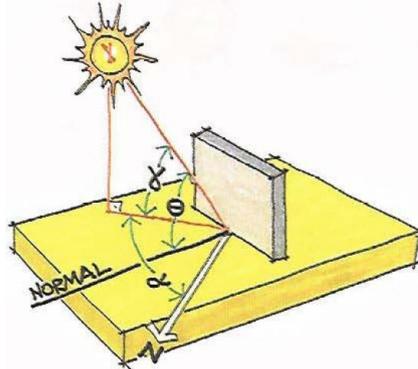
No projeto arquitetônico, a luz natural é geralmente dividida em três componentes, a luz direta do sol, a luz difusa do céu e a luz indireta que provem da reflexão de superfícies iluminadas por outra fonte originalmente (MOORE, 1991). Todas estas fontes apresentam características distintas e devem ser analisadas criteriosamente para o seu aproveitamento no projeto arquitetônico.

1.2.1.1. Luz Solar Direta

A fonte essencial de luz natural é o Sol. Ele determina as características essenciais da luz natural disponível, a duração dos dias e suas variações sazonais, assim como sua mudança ao longo do dia. Portanto, a disponibilidade de luz natural depende, entre outros fatores, da localização geográfica (MAJOROS, 1998).

A direção da radiação do sol ou da luz direta pode ser caracterizada por dois ângulos, como mostra a Figura 5: o azimute solar (α), direção em relação ao norte ou sul, e altitude solar (γ), em relação ao plano horizontal. As variações destes ângulos ao longo do dia e do ano são representadas por curvas no Diagrama Solar (LAMBERTS et al., 2004).

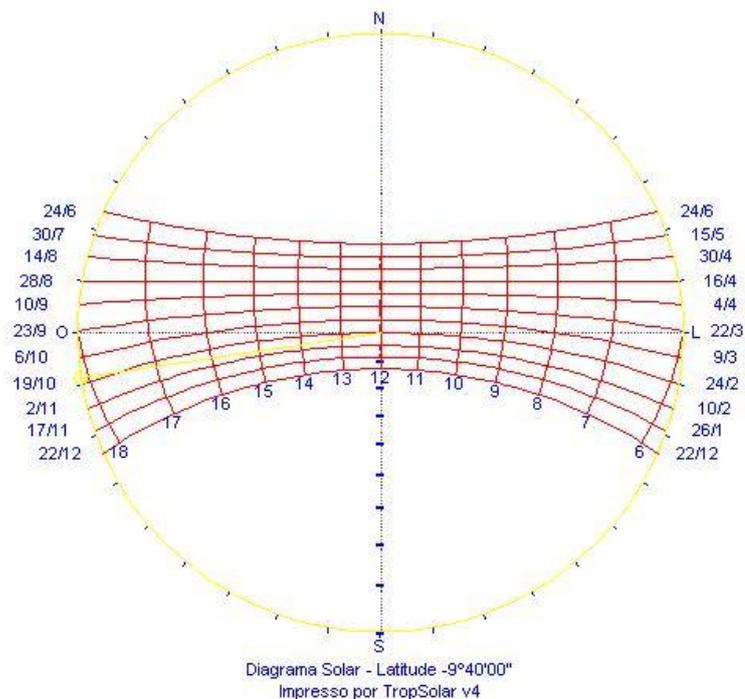
Figura 5- Ângulos de altitude solar (γ), de azimute solar (α) e incidência (θ).



Fonte: Lamberts et al., 2004.

O Diagrama Solar, também conhecido como Carta Solar ou Gráfico Solar, apresenta uma projeção estereográfica ou cilíndrica da abóbada celeste num plano horizontal, que representa todas as posições do Sol ao longo do ano para uma determinada latitude. Cada curva se refere a dois dias do ano (exceto os solstícios). Na carta Solar, as alturas variam de 0° a 90° e os azimutes, para o hemisfério sul, são contados a partir do norte em sentido horário e variam de 0° a 360° (BITTENCOURT, 2004). A Figura 6 mostra a Carta Solar de Maceió.

Figura 6- Diagrama Solar de Maceió.



Fonte: TropSolar 4 (CABÚS, 2011).

Comumente, a luz direta do sol ilumina apenas uma parte do ambiente o que gera uma linha de separação nítida entre a parte iluminada pelo sol e o restante do espaço, o que causa um elevado contraste. Por esta razão, a distribuição da luz no interior das edificações se torna

irregular e pode apresentar, além do acentuado contraste, excesso de brilho, ofuscamento¹ e ganhos térmicos. Assim, Mayhoub (2012) alerta que ao garantir o acesso à luz natural nos espaços internos é importante controlar a incidência da luz solar direta, pois ela pode ser requerida ou não. Na maioria dos casos, deve-se propor proteção contra os efeitos e desconforto da luz direta do Sol (MAJOROS, 1998), através de dispositivos dos mais simples como a cortina, até avançadas tecnologias que controlam a incidência direta da radiação solar.

1.2.1.2. Luz Difusa do Céu

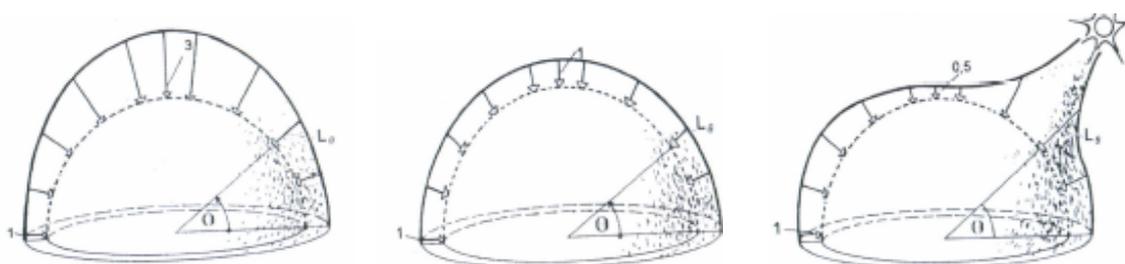
A luz do céu é uma fonte de luz difusa. Ela produz uma iluminação não direcional, suave, relativamente livre de sombra e de contrastes excessivos (MOORE, 1991), aspectos favoráveis no projeto arquitetônico para o aproveitamento de luz no interior do espaço. Além disso, a luz do céu está disponível continuamente de forma difusa durante o dia e se apresenta menos propensa a ocasionar desconforto visual e térmico (MAJOROS, 1998). No entanto, a luz difusa é consideravelmente menor que a resultante da luz solar direta, que pode variar entre 5.000 a 20.000 lux para o céu encoberto (LAMBERTS et al., 2004).

A luminância do céu não é constante. A posição do sol, as nuvens e a composição da atmosfera interferem no processo de difusão da luz e definem assim a configuração do céu ou sua distribuição de luminância. Há duas condições de céu extremas: o céu totalmente claro e o céu uniformemente nublado, todas as outras condições de céu podem ser consideradas como de transição entre estes dois extremos (MAJOROS, 1998). Portanto, é comum a consideração de três tipos de céu: céu claro, céu nublado e céu parcialmente nublado.

Na primeira situação de céu claro, a radiação direta solar é predominante e a radiação difusa é mais intensa ao redor do Sol e próxima do horizonte. Neste caso, o horizonte pode ser mais brilhante que o zênite (Figura 7). No céu nublado, o Sol não está visível e há um turvamento da atmosfera. A distribuição da radiação e a luminância tendem a ser mais uniformes, independente do sentido. Nesta situação, o zênite é três vezes mais brilhante do que o horizonte, mas constante em azimute. Por fim, o céu parcialmente nublado que combina o céu azul e nuvens mais ou menos espaçadas, representa a maior parte dos dias o que se aproxima mais da realidade. (MAJOROS, 1998; LAMBERTS et al., 2004).

¹ Segundo a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) é a sensação visual produzida por áreas brilhantes dentro do campo de visão e pode ser experimentado tanto como um ofuscamento desconfortável quanto um ofuscamento inabilitador. O ofuscamento pode também ser causado por reflexões em superfícies especulares e é normalmente conhecido como reflexões veladoras ou ofuscamento refletido.

Figura 7- Céu nublado, céu uniformemente nublado e céu claro respectivamente.



Fonte: Majoros, 1998.

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE, 2003) classifica 16 os tipos de céu utilizados nos cálculos de previsão da iluminação natural. Estes modelos são divididos nos três seguintes grupos: 6 tipos de céu encoberto, 5 tipos de céu parcialmente nublado e 5 tipos de céu claro.

A focar a cidade de Maceió, que apresenta uma variação entre esses três tipos de céu, com predominância do céu parcialmente nublado na maior parte do tempo, a determinação dos 16 tipos de céu padronizados da CIE é importante para o estudo da iluminação natural no clima tropical úmido, pois oferece modelos adequados para simular o céu parcialmente nublado. Nikiforiadis e Pitts (2003) ressaltam que o aspecto mais evidente e importante da simulação da luz natural é a natureza variável da fonte, pois, os resultados estão vinculados a uma previsão de condições externas que variam de acordo com a hora do dia, a data do ano, e com o tempo.

1.2.1.3. Entorno Construído

Apesar de muitas vezes não ser considerado no projeto de iluminação natural, o entorno interfere na luz que chega ao interior dos ambientes, seja no meio urbanizado, através de repetidas reflexões por meio das superfícies externas ao edifício, como no meio natural, no qual as copas das árvores, por exemplo, modificam a luz natural incidente no ambiente interno (HOPKINSON et al., 1975).

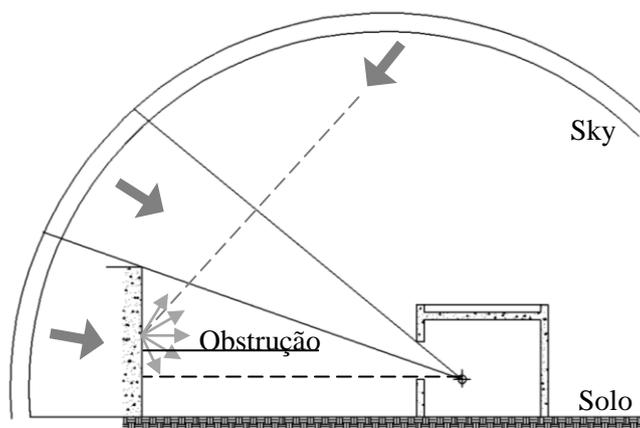
Na avaliação da obstrução solar realizada por Arboit et al. (2010), em ambientes urbanos densamente arborizados, na maioria dos casos estudados, o céu visível livre de obstruções tanto por construções como por vegetação é mínima ou nula. A participação por parte da arborização urbana na obstrução atingiu valores superiores a 40%, segundo os autores. Entretanto, em todos os casos, o valor percentual correspondente ao potencial das superfícies refletoras é próximo de 45%, o que demonstrou a importância da luz refletida em

áreas com a presença de uma densa arborização para a incidência de iluminação natural no interior do ambiente.

O espaço externo à edificação pode desempenhar um importante papel na disponibilidade de iluminação no interior de ambientes, pois pode refletir a luz do céu e a luz solar (LI et al., 2006). Desta forma, o meio externo se comporta como uma fonte luz e desempenha um papel passivo. A quantidade e a variabilidade da luz refletida a partir das obstruções são basicamente determinadas pela luz que chega do sol e do céu, como também pelas características das superfícies externas que interferem na qualidade da luz refletida.

Entretanto, o efeito da obstrução (Figura 8) apresenta uma dualidade. A princípio, as obstruções podem refletir a luz de outras partes do céu para o ambiente interno e também excluir a incidência de luz direta do sol por algum tempo. Por outro lado, pode parecer desfavorável para a disponibilidade de luz natural no ambiente, por impedir muitas vezes, a contribuição de parte do céu (MAJOROS, 1998).

Figura 8- O efeito de uma obstrução na iluminação natural.



Pesquisadores como Oral et al. (2004), Li et al. (2006) e Ng e Wong (2004) determinam variáveis que interferem na disponibilidade de luz no interior do ambiente. Oral et al. (2004) classifica os parâmetros em dois grupos: os relacionados com o ambiente externo, que estão além do controle do projetista, no caso a radiação solar e o nível de iluminação externa e o outro grupo de variáveis relacionadas com o ambiente construído, que pode ser projetado e construído pelo homem. Este último pode ser considerado em quatro escalas segundo o autor. (i) Escala urbana: dimensões e orientação das construções circunvizinhas e a luz refletida através das suas superfícies. (ii) Escala do prédio: orientação, localização e forma do edifício. (iii) Escala do ambiente interno: dimensão, forma, localização

e características de reflexão das superfícies internas. (iv) Escala do material: propriedades do material transparente da fachada.

Para Li et al. (2006), a qualidade e quantidade de luz natural que entra em um edifício também dependem de fatores internos e externos. Em seu estudo sobre o desempenho de iluminação natural dos blocos residenciais em Hong Kong, a autora considerou cinco parâmetros fundamentais de construção que afetam o projeto de iluminação natural: orientação e área da construção, área da janela, tipo de vidro, tipo de proteção solar e a cor do acabamento das superfícies externas. Entre os diversos fatores que influenciam na quantidade de luz recebida pela superfície vertical da fachada, Ng e Wong (2004) concordam que o desempenho da iluminação natural de um espaço interior depende de dois fatores: primeiramente, do fator de céu visível, a quantidade de céu visualizável em termos de ângulo sólido e em segundo lugar, em condições urbanas densas, a luz mais disponível é a luz refletida de superfícies circundantes. Esta luz depende da refletância das superfícies e de como são iluminadas.

Atualmente, há muitos trabalhos pelo mundo que demonstram a influência de variáveis externas e internas à edificação na disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno, principalmente em relação ao desenho da malha urbana e características dos materiais utilizados nas fachadas das edificações.

Moussadek e Rafik (2005), em estudo realizado para região de clima quente e seco, tomaram como referência dois tipos de cenário urbano: um com predominância da verticalidade e o outro da horizontalidade, e concluíram que em mais da metade do ano, o cenário em que predomina a horizontalidade apresentou maior quantidade de luz direta solar. Capeluto (2003) investigou a influência do ambiente construído sobre o uso potencial de iluminação natural em edifícios de escritórios em Israel. Para tal, foi modelado um prédio de escritórios típico sob a influência de diferentes configurações urbanas circunvizinhas e em seguida foram simulados os diferentes cenários com o auxílio dos programas Sustarc e Radiance.

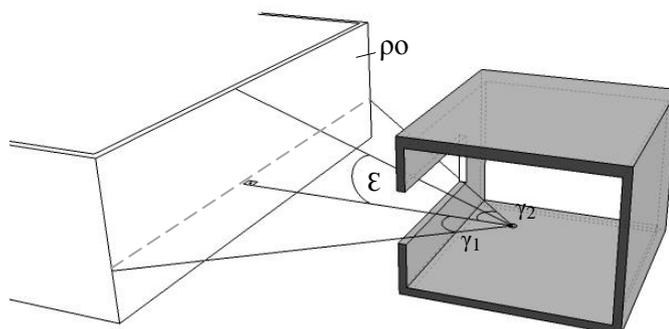
Tanto Pereira et al. (2008) como Nikiforiadis e Pitts (2003) afirmam que desconsiderar a variabilidade da distribuição de luminâncias do céu e a contribuição da reflexão da luz no entorno construído, na concepção do projeto arquitetônico, podem representar uma simplificação significativa na avaliação do nível de iluminação natural.

A seguir, tratar-se-á especificamente da contribuição das variáveis, as quais têm relação direta com o ambiente externo, na disponibilidade luz natural no ambiente interno das edificações.

Altura e Afastamento das Edificações Obstruidoras

A depender da geometria e da posição de determinada superfície externa, podem-se configurar obstruções diferentes quando vistas a partir de diferentes pontos no interior do ambiente. Uma obstrução em relação a um dado ponto pode ser caracterizada pela sua refletância média (ρ_0) e pelo ângulo sólido do ponto considerado: ângulos na horizontal (γ^1 e γ^2) e na vertical (ϵ) (Figura 9). Estes ângulos de obstrução irão variar com a distância ao obstáculo. Neste caso, a vista do céu pode ser conseguida quer por cima do obstáculo, ou pelo lado ou entre as obstruções (MAJOROS, 1998).

Figura 9- Dimensões de uma obstrução.



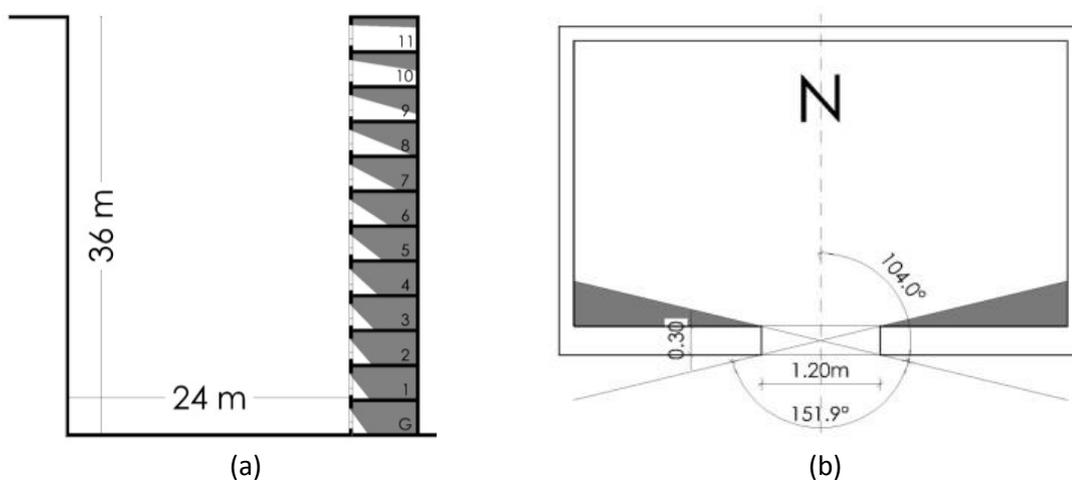
Outro ponto importante, destacado por Li et al. (2008), é que as construções localizadas próximas umas das outras, além de impedirem a incidência da luz direta do Sol, também obstruem partes da abóbada celeste, o que reduz os níveis de iluminação natural, principalmente nas unidades localizadas nos pavimentos inferiores. Capeluto (2003), em seu estudo, apresenta a dependência dos níveis de iluminação em relação à altura dos pavimentos, concluindo que é difícil alcançar uma adequada iluminação natural nos andares mais baixos se não há tratamento adequado à envolvente do edifício e sua organização interna.

Vários estudos têm considerado a altura e o afastamento das edificações na avaliação da disponibilidade de luz em espaços urbanizados. Em 2004, Ng e Wong, nos estudos realizados para Hong Kong, identificaram que com a variação da altura das edificações no meio urbano é possível melhorar o desempenho da iluminação e ventilação natural nos

ambientes internos, o que pode resultar numa contribuição de cerca de 20% a 30% da iluminação natural no interior. Em 2005, a partir de estudos de paisagens simplificadas com vários graus de diferenças de altura, Ng acrescentou que o ideal para Hong Kong é que os edifícios mais altos sejam de 100 m e os menores de 50 m, o que representa na maior parte das alturas das construções uma média de 75 m, o que proporciona maior disponibilidade de luz diurna para os pavimentos mais baixos dos edifícios.

Moraes e Scarazzato (2003) apresentam uma avaliação da influência das edificações obstruidoras no potencial de iluminação natural no interior dos edifícios, na cidade de Campinas-SP. Os autores aplicaram a metodologia dos Indicadores de Altura Admissíveis, a partir de parâmetros relativos à distância entre as edificações e seus respectivos gabaritos de altura. Os resultados apontaram que atualmente o distanciamento das edificações é insuficiente para o ideal aproveitamento da luz natural de acordo com o método adotado. Scalco (2010) notou em sua pesquisa que a ocupação da vizinhança por edificações mais baixas proporciona grandes obstruções em função da combinação com afastamentos reduzidos. Mayhoub (2012) conclui com seu estudo, realizado para cidade de Cairo, no Egito, que ao aumentar a largura da rua para se igualar a altura do edifício obstruidor há um significativo acréscimo na penetração da luz solar no inverno nos pisos inferiores das edificações. Abaixo a Figura 10 (a) e Figura 10 (b) ilustram a área interna exposta à luz solar com a presença da obstrução externa.

Figura 10- Imagens feitas por Mayhoub (2012). A primeira (a) ilustra a área de seção máxima exposta à luz solar e na segunda (b), a planta baixa mostra a influência da espessura da parede sobre a distribuição da luz natural.



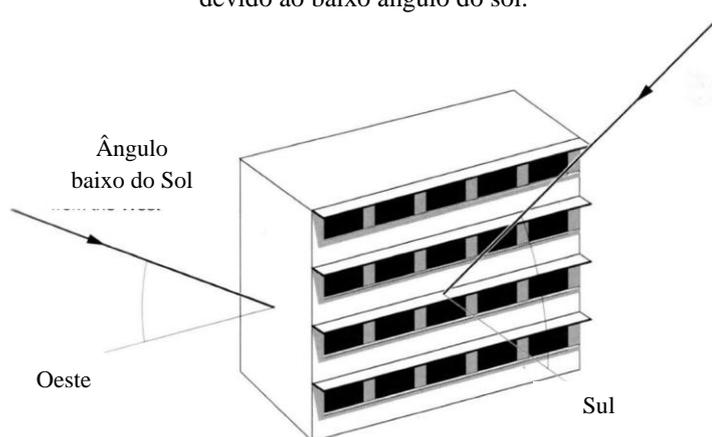
Fonte: Mayhoub, 2012.

Orientação da Abertura

A orientação das aberturas de um edifício tem grande influência na iluminação natural do seu interior. Isto só pode ser notado principalmente na presença do céu claro, pois o céu encoberto não apresenta interferência da luz direta solar. Para qualquer orientação, as janelas oferecem luz natural útil para a iluminação dos ambientes internos. Entretanto, com o adequado tratamento para cada orientação, pode-se obter melhores resultados luminosos. Unver et al. (2003) apontam a orientação da fachada um dos parâmetros básicos a serem levados em consideração para a admissão da iluminação natural no ambiente.

Independentemente do clima, há vantagens para as principais fachadas de um edifício serem orientadas para o norte e para o sul, em vez de leste e oeste. Isso ocorre porque a incidência do sol é proveniente de ângulos muito baixos, a leste e oeste, o que torna difícil o sombreamento e pode provocar contrastes e ofuscamento. No clima temperado, janelas viradas para ao norte recebem luz solar direta apenas no verão, no início do dia e no final, enquanto orientadas para sul, as fachadas podem ser facilmente sombreadas, devido ao alto ângulo do sol (Figura 11) (BAKER; STEEMERS, 2002). No clima tropical janelas orientadas para o norte recebem luz solar direta durante uma parte do ano e durante quase todo o dia, principalmente no inverno. Já as aberturas voltadas para o sul, recebem luz solar direta no verão.

Figura 11- Principais fachadas do prédio orientadas para o norte e para o sul. Janelas viradas para sul podem ser facilmente sombreadas por beirais. Enquanto que na orientação leste-oeste, as janelas são difíceis de sombrear devido ao baixo ângulo do sol.



Fonte: Adaptado de Baker e Steemers, 2002.

Superfícies Refletoras

Quando uma determinada radiação luminosa incide sobre o objeto, o resultado da sua capacidade de absorver, transmitir ou refletir essa luz revela a sua cor e sua textura. No

entorno construído da edificação, a principal característica que interfere na disponibilidade de luz no ambiente interno é a refletância das superfícies, pois é através da reflexão dos raios solares que incidem nas obstruções que a luz atinge o interior do ambiente. Embora as reflexões apresentem grande potencial para aumentar os níveis de iluminação no interior do edifício, deve-se atentar para o tipo da superfície e sua posição, caso contrário, também poderá causar o ofuscamento (LI, 2008).

A direção do feixe refletido depende da natureza da superfície na qual a luz incide. A reflexão pode ser especular, quando a luz é refletida no mesmo plano que o raio incidente e com um ângulo igual ao ângulo de incidência. Isto ocorre em superfícies lisas e polidas. A reflexão difusa é quando a luz incide numa superfície rugosa que espalha a luz em todas as direções, ou pode ser mista. Na reflexão, uma parcela da luz é absorvida pelo objeto, portanto, o valor da refletância será o resultado da razão entre a luz refletida e a luz incidente. Este valor varia entre zero e um. Quando a refletância é igual a zero, a superfície é um preto perfeito, portanto, absorve a luz. Por outro lado, quando a refletância é igual a um, toda a luz incidente é refletida (TREGENZA; LOE, 1998).

Diante dessa característica da superfície, as edificações adjacentes podem contribuir positivamente para iluminação no interior do ambiente. Para Li (2006) e Ng e Wong (2004), em áreas densamente urbanizadas, a componente refletida seria a principal fonte de luz natural. Baker e Steemers (2002) apontam uma situação de reflexão da luz favorável para iluminação natural no ambiente, referente ao clima temperado, quando uma janela orientada a norte, com vista para um muro de cor clara virado para sul, que é fortemente iluminado pelo sol. O oposto poderia ser aplicado ao clima tropical. Esta superfície pode ser mais brilhante que o céu azul desobstruído. Pereira et al. (2008) também verificaram que a reflexão da luz no entorno construído contribui de maneira significativa na iluminação no interior da edificação. Os resultados da pesquisa realizada apresentaram uma contribuição média do entorno construído de aproximadamente 26% nos níveis de iluminância interna admitidas por aberturas laterais.

Portanto, conclui-se que as características do entorno construído têm grande influência na disponibilidade de luz do dia no interior das edificações, que se não for bem planejada, pode aumentar o consumo de energia elétrica por meio de sistemas artificiais de iluminação. No estudo realizado para a cidade de Vitória – ES, Laranja (2010) abrange todos os parâmetros descritos anteriormente para avaliar a disponibilidade de luz no ambiente interno. Constatou-se que as edificações obstruidoras com altura superior a 20m acarretam maiores

reduções no número de horas no intervalo suficiente de iluminância útil, portanto, maior consumo de energia com iluminação artificial.

Li (2008) investigou o desempenho da iluminação natural de 35 edifícios de escritórios com ar-condicionado em Hong Kong. Em geral, constatou-se que as fachadas desses edifícios são favoráveis ao aproveitamento da iluminação natural, que possibilitaria economizar mais de 25% do consumo total de iluminação elétrica caso fosse utilizada, quando associados à fachada elementos de controle eficientes da iluminação natural. No trabalho realizado por Ratti et al. (2005) nas cidades de Londres, Berlim e Toulouse, verificou-se que entre alguns fatores, como o desenho das edificações, eficiência dos sistemas de construção e comportamento dos ocupantes, a influência da geometria urbana na redução do consumo de energia elétrica é bastante significativa, o que para os autores justificaria uma reflexão cuidadosa no planejamento urbano nessas cidades.

Para se avaliar a quantidade e qualidade da iluminação natural, tanto no meio urbano como no ambiente interno, são determinados parâmetros que serão descritos a seguir.

1.2.1. Avaliação da Iluminação Natural

1.2.2.1. No Ambiente Externo

Não é recente a preocupação em determinar parâmetros que avaliem a obstrução do céu e determinem a influência da reflexão do entorno no ambiente construído a fim de garantir a disponibilidade à luz natural. Os indicadores de controle da obstrução do céu, como os propostos pelos pesquisadores Hopkinson et al. (1975) e Littlefair (1998), têm como objetivo prover iluminação adequada na fachada mediante limitações na largura e nas alturas angulares dos edifícios de obstrução, através de uma zona angular, que não se baseia apenas em ângulos limitadores da altura dos edifícios, mas também ângulos horizontais que controlam o espaçamento entre as edificações. Desse modo, objetiva-se garantir à edificação condições mínimas de insolação e de acesso à luz natural.

Entretanto, esses indicadores apresentam limitações por desconsiderar os vazios entre as edificações, que podem influenciar significativamente na disponibilidade de luz natural. Com isso, no contexto atual, destacam-se formas mais avançadas de determinar uma zona angular desobstruída, como se verifica na Área de Visão Desobstruída (AVD) e na Janela de

Céu Preferível (JCP), nos quais são propostos métodos mais complexos, ao inserirem a simulação computacional como ferramenta.

Ng e Wong (2004) e Ng et al. (2005) utilizaram o Fator de Luz Diurna Vertical (FLDV) como parâmetro-base, juntamente com os indicadores de altura admissíveis para propor o parâmetro Área de Visão Desobstruída (AVD). A AVD consiste na determinação de um cone de visão do céu delimitado por ângulos horizontais (azimutais) e verticais (altura), dentro do qual determinada parcela de visão do céu estaria desobstruída. O método foi desenvolvido a partir de formulações teóricas e simulação computacional da luz natural, adequados para condição climática e de ocupação urbana de Hong Kong, cidade de alta densidade. Atualmente o método é considerado nas normas de construção dessa cidade e o autor ressalta que com pequenas modificações nas suas variáveis, a metodologia para o método AVD poderia também ser utilizada para outras cidades de extrema densidade.

A Janela de Céu Preferível (JCP), desenvolvida por Leder (2007), consiste na definição de uma porção do céu que apresenta maior potencial de iluminação natural sobre um plano horizontal localizado no ambiente interno. Esta área está delimitada por ângulos horizontais de 45° à esquerda e à direita e por ângulos verticais de 15° inferior e 60° superior. Conseqüentemente, quanto menor a obstrução dessa porção do céu, resultar-se-ia em menor impacto na iluminação natural de ambientes internos. Nota-se que os estudos têm buscado determinar parâmetros mais precisos de previsão da influência do entorno construído na disponibilidade de luz natural no interior do ambiente.

1.2.2.2. No Ambiente Interno

A fonte de luz natural que chega através da janela, ao contrário das fontes artificiais, não apresenta um fluxo constante de luz. Com isso, nos estudos da iluminação natural são utilizados métodos que definem sua capacidade de iluminar os ambientes internos. Um dos métodos comumente utilizados para determinar o nível de luz do dia em um ambiente é o FLD, Fator de Luz do Dia. De acordo com Tregenza e Loe (1998), o FLD é definido por um percentual resultante da razão entre a iluminância em um ponto no plano de trabalho (E_i), e a iluminância em uma superfície horizontal externa sem obstrução, medidas no mesmo instante (E_{dh}).

Para fins de cálculo do FLD, geralmente se considera três componentes: a componente do céu, a componente refletida externamente e a componente refletida no interior do ambiente. Embora bastante utilizado como um método padrão, o FLD apresenta algumas

limitações para o clima tropical úmido, pois utiliza apenas o céu encoberto (luminância constante) na estimativa da iluminação em uma sala, o que o torna inaplicável em situações nas quais a luz varia em função das horas do dia e do ano e das diferentes orientações, para cada ponto estudado, aponta Nabil e Mardaljevic, (2006), o que desconsidera a possibilidade de ocorrência de iluminação excessiva e ganho térmicos.

Outro método conhecido é *Daylight Autonomy* (Autonomia da Luz do Dia) introduzido por Reinhart (2005). Este método tem sido utilizado em estudos para avaliar as previsões de iluminância a partir da análise de dados climáticos (anuais). A autonomia da luz natural corresponde à porcentagem de horas ocupadas do ano em que no plano de trabalho possa ser mantido o limiar mínimo de 500 lx, sem complementação de fontes artificiais. Ou seja, indica dentro de um ambiente a área em que um nível mínimo de iluminância para uma determinada tarefa é mantida através da luz natural durante o ano e no horário em que o espaço é utilizado. Segundo Reinhart (2005), este método pode ser calculado por meio de simulações computacionais.

Para Nabil e Mardaljevic (2006), a autonomia da luz do dia tem valor limitado em função das seguintes razões: a autonomia da luz não leva em consideração a iluminância que está abaixo do limiar estabelecido, mas que são reconhecidas pelos ocupantes e possui potencial para substituir ou complementar iluminação elétrica. Também não se preocupa com a iluminância excedida que pode causar desconforto para o usuário. Outra maneira mais completa proposta pelos autores, que pode ser obtida através da frequência de ocorrência dos níveis de luz natural dentro de determinados intervalos, é a chamada Iluminância Útil de Luz Natural (IULN).

Em contraste com a autonomia da luz do dia, este método de avaliação da luz natural, por abranger a grande variedade dos níveis de iluminância que podem ser alcançados, incorpora elementos que são indicativos da propensão para a ocorrência de desconforto para o ocupante. A iluminância útil da luz natural corresponde aos valores de iluminância que se encontram dentro da faixa de 100 a 2.000 lx. Se a iluminância estiver abaixo do valor mínimo, pode ser insuficiente para a percepção visual do ambiente ou para a execução das tarefas. Inversamente, se a iluminância exceder o valor máximo, pode produzir desconforto visual e térmico.

Nabil e Mardaljevic (2006) determinaram este intervalo a partir de uma revisão abrangente dos dados mais recentes de estudos de campo relacionados com o comportamento

dos ocupantes em condições de luz natural. O regime da IULN é aplicada através da determinação da ocorrência de iluminância da luz natural nas seguintes faixas:

1. De 100 a 2000 lx, as iluminâncias estão dentro do intervalo definido como útil;
2. Menos de 100 lx, está aquém do intervalo útil;
3. Maior que 2000 lx, excede a faixa útil.

Deste modo, apenas três métricas são usadas para avaliar a variação da iluminância da luz do dia em cada um dos pontos calculados e qual a porcentagem de ocorrência de tais valores durante um ano. Os autores ainda acrescentam que no intervalo de 100 a 500 lx, os níveis de iluminância são considerados eficazes, quer como a única fonte de iluminação, ou integrado com sistemas artificiais de iluminação e na faixa de 500 a 2.000 lx são níveis considerados como desejável ou pelo menos tolerável.

A IULN se apresenta como um método consistente de avaliação real da iluminação natural em um espaço interno. Portanto o presente trabalho se utilizará do mesmo para avaliar a iluminação natural no interior do ambiente, através de níveis de iluminâncias obtidos por meio de simulação computacional, a partir de arquivos climáticos da cidade de Maceió.

1.2.2. Aferição da Iluminação Natural

O aproveitamento da luz natural no interior da edificação pode ser conferido através de diversas ferramentas, tanto em um ponto específico como num plano de trabalho, ao longo do ano ou em uma determinada data e hora. Estas ferramentas incluem desde medições *in loco* até tecnologias mais avançadas, como a simulação computacional (BAKER; STEEMERS, 2002).

Como afirma Pereira et al. (2008), atualmente graças aos avanços na tecnologia dos computadores, a simulação computacional tem se mostrado uma opção rápida no estudo da iluminação natural, ao acelerar a tomada de decisões nas diferentes etapas dos projetos, além de se destacar pelo baixo custo e a independência de fatores naturais externos. Entretanto, Cabús (2005) ressalta que a maior parte dos programas computacionais apresentam limitações ao simularem a realidade da iluminação natural nos trópicos, devido às particularidades dos padrões de distribuição de luminâncias do céu e pela complexidade nas geometrias da arquitetura tropical, com elementos de proteção e controle da luz natural.

A simulação computacional apresenta-se como uma ferramenta que proporciona resultados eficazes para analisar o desempenho luminoso de cenários e análises paramétricas,

conforme exemplificado por Papst, Pereira e Lamberts (1998). Alguns exemplos de ferramentas computacionais de auxílio à avaliação da iluminação natural são os programas Daysim/Radiance, TropLux, Radiance, EnergyPlus, Apolux, Lightscape, Lumen Micro e Ecotect.

O programa TropLux 6 (CABÚS, 2014) possibilita a determinação das iluminâncias internas ao levar em conta a contribuição da luz do céu, de acordo com os 16 tipos de céu em função do padrão CIE, da luz do Sol, da refletância das superfícies internas e externas da geometria urbana. Portanto, permite compreender a influência das características internas do ambiente, como também dos diferentes cenários urbanos na disponibilidade da iluminação de interiores.

Os trabalhos desenvolvidos por Laranja (2010) e Araújo e Cabús (2006), utilizaram o TropLux como ferramenta computacional de simulação da disponibilidade de iluminação natural no interior do ambiente, no qual modelaram as edificações e as obstruções externas. Laranja (2010) realizou simulações para o cenário real e para o cenário simplificado e verificou que o *software* é adequado para o estudo da iluminação natural no interior do ambiente para ambos os casos, devido à pequena diferença percentual entre os resultados das simulações.

Ricardo Cabús (2005) desenvolveu o programa TropLux durante o seu doutorado, na Universidade de Sheffield, Inglaterra, sob orientação do professor Peter Tregenza. Desde então, o programa tem sido atualizado periodicamente, ao incorporar novas rotinas em função das necessidades, bem como simplificações em seu procedimento. O programa, segundo o autor, se baseia em três conceitos fundamentais: o método Monte Carlo, o método do raio traçado e o conceito de coeficientes de luz natural.

Para ser executada a simulação no programa é necessária a determinação da geometria da sala, planos, janelas e características dos materiais, além da localização geográfica da cidade. No caso de geometrias complexas, todas as superfícies devem ser formadas por planos, inclusive as curvas. As obstruções externas também são configuráveis da mesma forma que a sala modelada. O TropLux ainda permite o processamento de superfícies difusas, especulares e mistas, bem como opacas, transparentes e translúcidas (CABÚS, 2005).

Entre os métodos utilizados pelo programa para visualizar os resultados obtidos, está a Iluminância Útil de Luz Natural (IULN), uma maneira de avaliação realista do desempenho da iluminação natural num ambiente interno, segundo Nabil e Mardaljevic (2006). Outra forma de visualização é através das isocurvas, método que consiste num mapeamento da

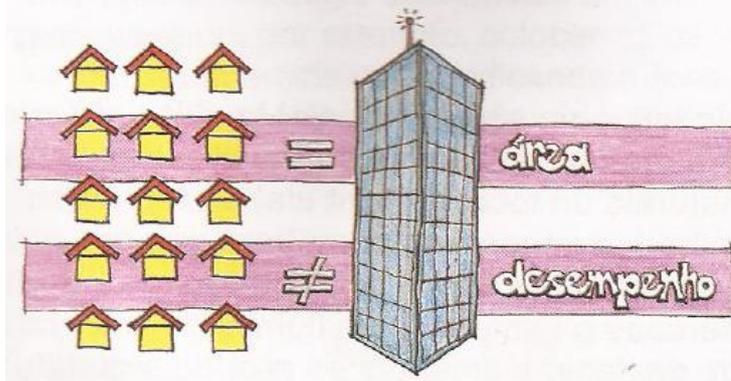
iluminância no plano de trabalho. As isocurvas são curvas com mesmo valor, que pode representar a iluminância global, bem como suas componentes, em lx ou em %. Quanto maior o número de pontos processados, melhor será a definição das curvas. Este método busca tornar a exposição dos resultados mais acessível e de fácil compreensão para os projetistas, e tem como base uma avaliação qualitativa da distribuição de iluminâncias no ambiente (CABÚS, 2011).

1.2.3. Iluminação Natural e Normas Edilícias E Urbanísticas

As fontes de luz citadas anteriormente (luz do sol e do céu) não podem ser dominadas pelo homem, mas seus efeitos podem ser administrados na construção. As características de forma, dimensão, localização, orientação e propriedade das superfícies do edifício e do seu entorno construído podem ser determinadas por meio tanto do projeto arquitetônico como pelo planejamento urbano, de modo que seja permitido o acesso adequado da iluminação natural no interior dos ambientes.

Pode-se utilizar de várias soluções volumétricas para se projetar um conjunto de habitações. Lamberts (2004) aponta como exemplo, a composição de volumes separadamente como casas isoladas, ou construir apenas um único edifício residencial com múltiplos pavimentos (Figura 12). Neste caso, há desigualdades térmicas e luminosas entre as duas soluções. Na primeira composição, todas as paredes estão expostas à ventilação e à radiação solar, inclusive a cobertura, já na segunda solução algumas unidades apresentam maior exposição do que outras.

Figura 12- Diferença entre casas isoladas e edifício vertical residencial.



Fonte: Lamberts et al., 2004.

O terreno de implantação da edificação pode impor restrições sobre a escolha de sua forma, principalmente em situações urbanas densas, o que irá influenciar diretamente nas possibilidades de captação da iluminação natural. Legislação e códigos de planejamento também podem estabelecer algumas limitações à forma do edifício (BAKER; STEEMERS, 2002).

A proximidade das edificações e o perfil geométrico dos cânions urbanos de densidade elevada afetam a qualidade da iluminação no interior dos ambientes, devido à obstrução dos raios solares e à diminuição da parcela visível do céu. Diante das rígidas características físicas de áreas densamente urbanizadas, com delimitações e padronização de loteamentos e traçado urbanos que normalmente não consideram a orientação solar e a direção dos ventos, a falta de flexibilidade prejudica a implantação do edifício (VIANNA e GONÇALVES, 2001).

Para Littlefair (2001), na presença de obstruções deve-se assegurar o acesso à luz natural tanto aos edifícios circunvizinhos existentes como também às novas edificações. Hopkinson et al. (1975) ressaltam que tem sido feitos esforços para que os edifícios não causem grave obstrução à luz do dia, da qual os outros usufruem. O autor também destaca que quando se projeta um conjunto inteiramente novo de edifícios, a implantação de um edifício em relação ao outro pode ser planejada de maneira que todos recebam adequada iluminação natural. Entretanto, quando um edifício novo é inserido em uma área já consolidada com edifícios circunvizinhos, a solução do problema se limita a projetar o edifício de forma que não cause nenhuma obstrução indesejável à iluminação das outras construções e que busque captar a luz natural disponível e refletida do exterior.

Scalco (2010) buscou desenvolver um método para a análise do impacto de edificações urbanas em relação às condições mínimas de insolação e de iluminação natural, com a utilização da simulação computacional. A autora acredita que a utilização de técnicas de representação da visibilidade/obstrução da abóbada celeste, integrada à disponibilidade de luz natural na fachada (FLDV) associada à Janela de Céu Preferível (JCP) e à radiação ponderada, possibilita a visualização dos resultados para a conferência da iluminação natural e insolação de forma unificada e permite assim, a avaliação dos impactos de novas edificações. Scalco (2010) resalta que a importância da aplicação do método é que se os impactos desfavoráveis forem constatados previamente, será possível realizar alterações no projeto arquitetônico de modo a contribuir para o acesso a estes recursos naturais pela vizinhança.

Trabalhos realizados por Littlefair (2001), Capeluto (2003), Nikiforiadis e Pitts (2003), Leder (2007), Arboit et.al (2010), Laranja (2010) e Scalco (2010) visam contribuir

para o desenvolvimento de orientações normativas que buscam o uso mais eficiente dos recursos naturais em edifícios urbanos e para reconstrução de regulamentações urbanas que garantam e controlem a disponibilidade da luz natural no ambiente interno. Ng e Wong (2004) ressaltam a importância de estudos para guiar o projeto das edificações e o planejamento urbano.

No estudo realizado por Leder (2007), com a utilização de programas computacionais (Cityzoom e Apolux) e adotando como um dos parâmetros de análise a Janela de Céu Preferível, dois cenários de um recorte urbano da cidade de Florianópolis - SC foram simulados. O cenário que reproduz a situação atual, e o cenário que simulou a máxima ocupação permitida pela legislação urbana. Os resultados do estudo apontaram expressiva redução da iluminação natural no interior dos ambientes localizados no cenário legislação. Comprovou-se que a ocupação máxima do solo na área estudada permitida pela legislação pode reduzir significativamente a luz natural direta e indireta no meio urbano. Outro aspecto analisado foi em relação ao posicionamento dos ambientes no cenário. Notou-se nos resultados uma tendência, verificada principalmente no cenário legislação, de que os ambientes localizados nas laterais e fundos dos edifícios apresentariam pior desempenho da iluminação natural, fato este que atesta a importância da determinação de recuos laterais e de fundo mínimos para captação de luz natural adequada.

Laranja (2010), assim como Leder (2007), também faz um estudo da disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno. Laranja (2010) utilizou os valores de máxima ocupação permitidos para as edificações no recorte urbano na cidade de Vitória-ES. A pesquisa foi realizada através de comparações do nível de iluminação natural em um ambiente interno, considerando-se da variação de alguns parâmetros externos, analisados segundo os valores médios anuais de iluminância interna, os percentuais de horas do dia enquadrados nos intervalos das UDI e os percentuais de iluminância provenientes do Céu e do Sol. Os parâmetros são: largura de via, orientação de via, altura das edificações obstruidoras, afastamento das edificações obstruidoras, refletância das superfícies externas. Os resultados verificaram a importância desses parâmetros para a disponibilidade de luz natural no interior do espaço, com menor relevância o parâmetro afastamento, constatou-se também a presença de intervalos de larguras de vias e de alturas de edificações obstruidoras que apresentam maior variação no nível de iluminação natural no ambiente.

No clima tropical úmido, o projeto das janelas, além de proporcionar a iluminação natural nos edifícios, está diretamente relacionado com a obtenção do conforto térmico,

através da promoção da ventilação natural e com a necessidade de proteção da radiação solar direta. Com isso, a iluminação natural interior pode depender mais da luz solar refletida do que da luz do sol direta (HOPKINSON et al., 1975). Portanto, na cidade de Maceió, onde há abundância de iluminação natural, a regulamentação urbana deve assegurar a disponibilidade da luz natural no interior dos ambientes através das fontes direta e indiretas, no intuito de proporcionar melhor conforto luminoso e bem estar.

Por fim, diante do referencial exposto anteriormente e baseado na hipótese de que a disponibilidade da iluminação natural no ambiente interno, consideradas as características do clima local, depende das características do entorno urbano, os parâmetros que serão analisados neste trabalho são os seguintes: largura da via, altura e afastamento das edificações obstruidoras, superfícies verticais refletoras externas e altura do ambiente na edificação. Como concluem Corbella e Yannas (2003), prever as futuras modificações microclimáticas, produzidas pela implantação de novos edifícios (obstruções) que possam vir a surgir, de modo a prognosticar sua influência sobre o prédio em projeto, poderá servir como referência à legislação normativa da construção, na zona considerada.

1.3. Objeto de Estudo

Com a crescente urbanização das cidades e principalmente com o adensamento nas regiões mais valorizadas, muitas vezes, são construídas edificações cada vez mais altas, com o mínimo necessário de afastamento entre as edificações e altos coeficientes de aproveitamento do terreno, de maneira a garantir o aproveitamento máximo da área do mesmo tanto horizontalmente como verticalmente. Isto resulta em cânions de grande altura com pouca visibilidade do céu, ou seja, com limitada captação da radiação solar.

Na cidade de Maceió, o processo de urbanização também acontece desta forma: há a valorização do solo urbano, que conduz ao adensamento e a verticalização. No entanto, para exercer o ordenamento do adensamento urbano, o Plano Diretor de Maceió (MACEIÓ, 2005) propõe zoneamentos e diretrizes para planejamento urbano, complementado pelo Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió – Lei Municipal 5.593/07 (MACEIÓ, 2007), que determina afastamentos mínimos, coeficientes de aproveitamento e taxas de ocupação do terreno, como também limitação do gabarito de altura das edificações.

Entretanto, os referidos regulamentos urbanos não determinam parâmetros de dimensionamento que possam estabelecer condições adequadas de iluminação natural no interior dos ambientes. O Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió, na

Seção II – Dos Vãos de Iluminação e Ventilação, o Artigo 319, determina que o atendimento aos níveis de iluminação seja de competência e responsabilidade dos profissionais que subscrevem o projeto. Assim, por não prever uma área mínima de abertura a ser atendida para um bom aproveitamento da iluminação natural, deixa esse parâmetro sujeito a diferentes interpretações.

A área escolhida para realizar o estudo encontra-se na planície do litoral norte da cidade de Maceió – AL (Figura 13 e Figura 14). A área compreende os bairros de Jacarecica, Guaxuma, Garça Torta, Riacho Doce, Pescaria e Ipioca, o que abrange um total de 5139 Ha, com uma faixa litorânea de aproximadamente 20 Km lineares (Plano Estratégico para o Litoral Norte apud Melo, 2009).

Figura 13- Vista aérea do litoral norte de Maceió, área de expansão do município.



Fonte: www.ceruttiengenharia.com.br

Figura 14- Início da provável verticalização no bairro Guaxuma na cidade de Maceió.

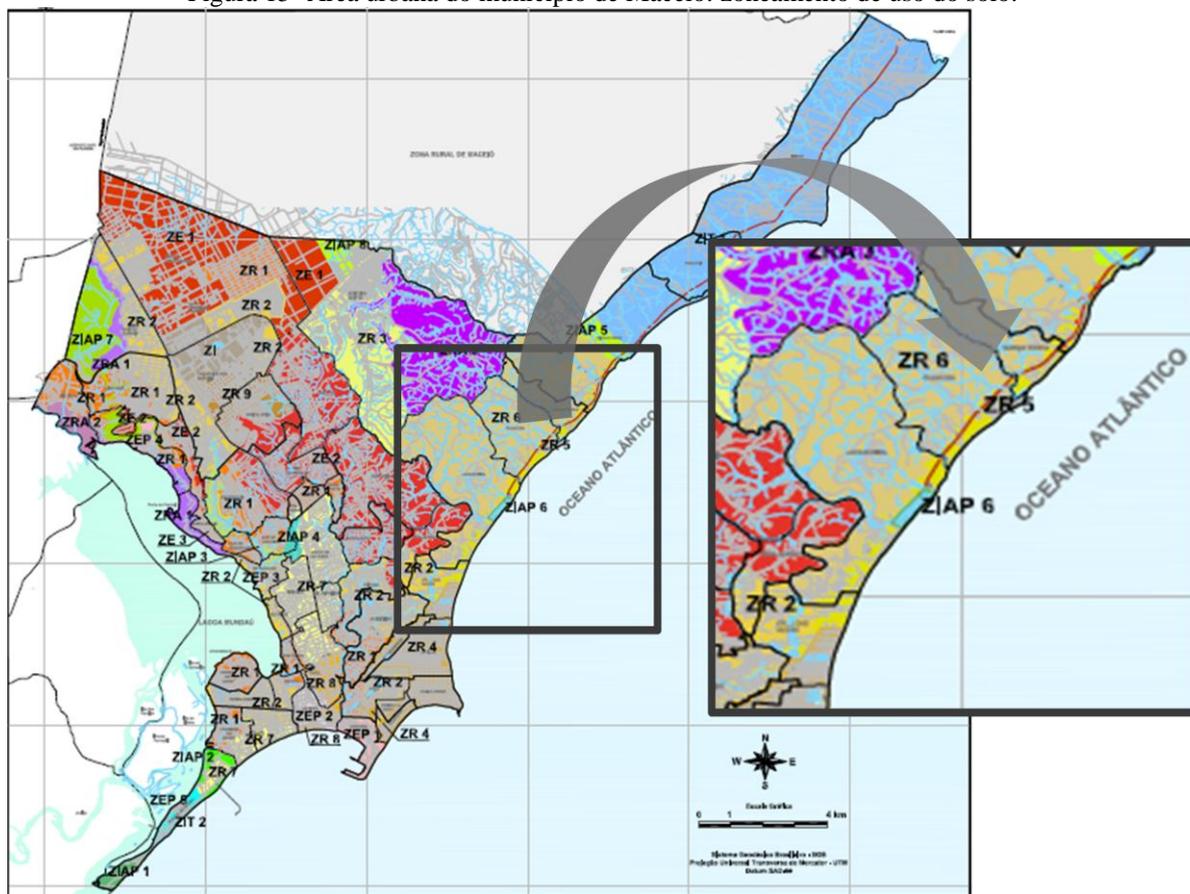


Fonte: www.ceruttiengenharia.com.br

O litoral norte de Maceió é caracterizado como uma área de expansão urbana da cidade. Isto ocorre principalmente na Zona Residencial do tipo 5 (ZR-5) (Figura 15) que abrange os bairros Cruz das Almas, Jacarecica, Guaxuma, Garça Torta e Riacho Doce, áreas na cidade destinada à ocupação predominante do uso residencial, onde é permitida a

verticalização limitada a 20 (vinte) pavimentos, com baixa ocupação do terreno, de acordo com o Código de Edificações e Urbanismo de Maceió (Lei Municipal 5.593/07).

Figura 15- Área urbana do município de Maceió: zoneamento de uso do solo.



Fonte: Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió-AL, Lei n° 5354/2007 (MACEIÓ, 2007)

O estudo se deterá à Zona Residencial do tipo 5, justamente pela possibilidade de desenho urbano através do gabarito de até 20 pavimentos, o que apresenta uma nova configuração urbana para uma área de predomínio residencial na orla marítima de Maceió. Desse modo, busca-se pesquisar como essa nova configuração contribui na disponibilidade de luz no ambiente interno em um edifício multifamiliar.

1.3.1. Características Climáticas de Maceió

Maceió é uma cidade litorânea com clima tropical-úmido, localizada na latitude 9°40' ao Sul do equador e longitude 35°42' a Oeste do meridiano de Greenwich. Está enquadrada na Zona Bioclimática 8 e apresenta uma condição favorável para o aproveitamento da luz natural (NBR 15220). De acordo com Romero (2001), o clima tropical quente-úmido é caracterizado por possuir pequena amplitude térmica durante o dia. Os dias são quentes e úmidos e as noites apresentam temperaturas mais amenas e umidade elevada. Esse clima é

caracterizado por possuir duas estações inverno e verão, com pouca variação de temperatura entre elas.

Cabús (2002), a partir da análise das Normais Climatológicas de 30 anos, entre os anos de 1961 e 1990, e dados coletados da estação meteorológica do Aeroporto Zumbi dos Palmares no período de 1982 a 1997, pôde caracterizar o clima de Maceió da seguinte forma:

- Temperatura

A temperatura média anual é de 24,8 ° C e, com temperaturas que variam pouco entre o dia e a noite e também durante todo o ano. A temperatura média mensal mais alta é de 26,3 ° C e acontece em fevereiro, enquanto a mais baixa ocorre em agosto, com 23,5 ° C.

- Precipitação

A precipitação anual é de 2.167,7 mm, com quase 60% de toda a precipitação do ano concentrada entre os meses de abril e julho, ou seja no período do inverno.

- Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar em Maceió não apresenta uma variação significativa durante todo o ano e alcança valores elevados mesmo durante a estação seca. A umidade relativa anual é de 78,3%. No mês de maio chega a sua média máxima de 82,6 %, enquanto que em novembro atinge a menor média, 74,7 %.

- Insolação

Através da comparação dos dados de insolação mensal com a duração do dia astronômico, Cabús (2002) definiu a probabilidade de insolação em Maceió. O mês de Julho, em que a insolação apresenta menor probabilidade, representa praticamente 50% do dia. Em setembro, a maior, representa aproximadamente 74%. Com base nos dados é possível verificar o papel significativo da luz do dia em projetos executados nesta região.

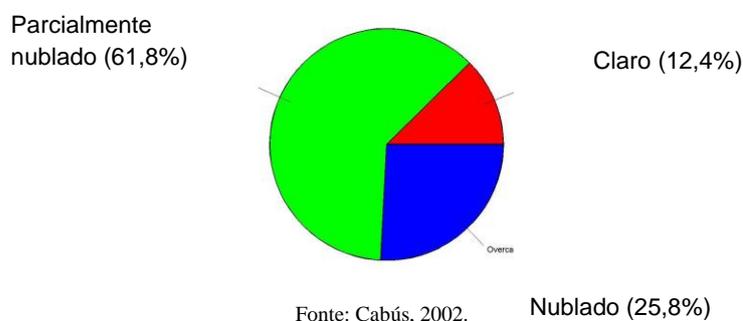
- Nebulosidade

Ao avaliar as variações durante o dia, a nebulosidade é menor no período da manhã, aumenta ao longo do dia e atinge o ponto máximo no início da tarde e reduz até anoitecer. Ao meio-dia, em particular, a nebulosidade é menos vulnerável a variação sazonal. Em relação, a variação ao longo do ano, a nebulosidade é maior nos meses de

abril a julho, no mesmo período onde as precipitações são maiores e a insolação é menor.

Após a análise dos dados de cobertura do céu, Cabús (2002) analisou com que frequência ocorrem os três tipos de céu predominantes em Maceió, o encoberto, parcialmente nublado e claro. O autor concluiu que o céu parcialmente nublado é o mais frequente, com 61,8% das ocorrências. Em seguida aparece o céu encoberto com 25,8%, enquanto o céu claro, menos frequente, ocorre em 12,4% (Gráfico 1).

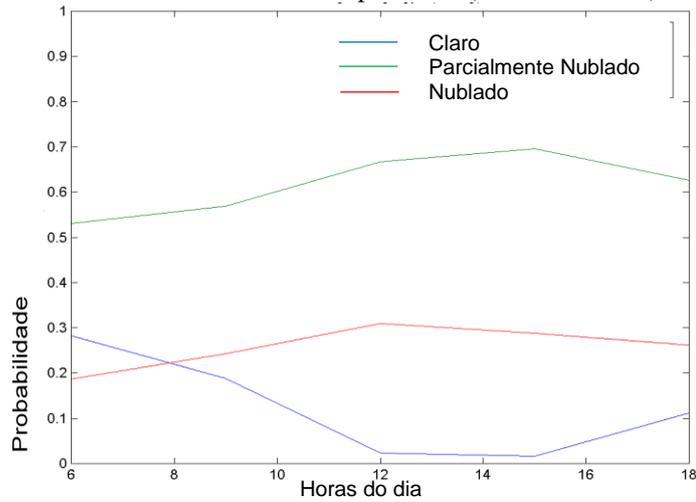
Gráfico 1- Probabilidade do tipo de céu.



Em relação à probabilidade de ocorrência durante o dia, o céu parcialmente nublado é o mais frequente e ocorre com maior frequência no período da tarde. Já o céu claro ocorre mais durante a manhã, principalmente quando o Sol está mais baixo. O céu encoberto apresenta maior frequência ao meio dia e menor frequência de manhã cedo (Gráfico 2).

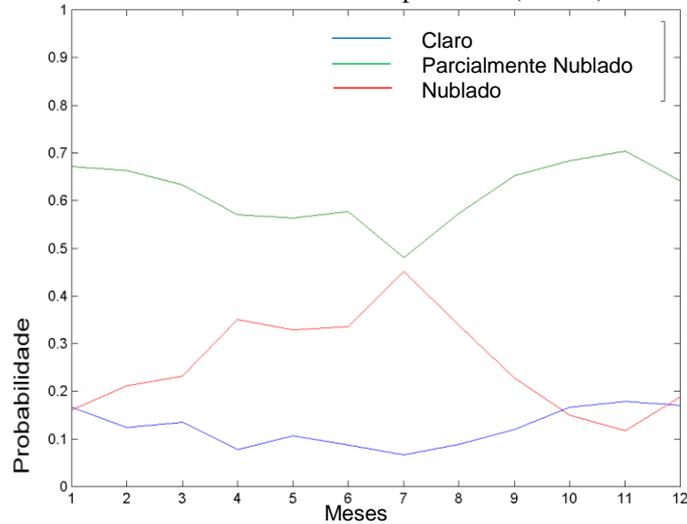
Ao considerar a probabilidade de ocorrências mensais, o céu encoberto é o que apresenta maiores variações na frequência durante o ano; aproxima-se do parcialmente nublado no mês de julho e aparece menos nos meses de outubro e novembro, onde o céu claro aparece com mais frequência (Gráfico 3).

Gráfico 2- Probabilidade do tipo de céu (de hora em hora).



Fonte: Cabús, 2002.

Gráfico 3- Probabilidade do tipo de céu (mensal).



Fonte: Cabús, 2002.

Através da retrospectiva da utilização da luz natural na história, constata-se a importância da associação das edificações com o meio ambiente. A presença de luz natural abundante durante todo o ano é favorável para o aproveitamento na iluminação do interior da edificação e para a economia de energia elétrica. Como afirma Baker e Steemers (2002), a luz natural é para ser usada tanto para fins estéticos, como uma técnica pragmática para reduzir nossa dependência da luz artificial. A integração entre a qualidade e quantidade de luz do dia permite alcançar uma arquitetura sustentável e confortável.

Síntese da seção

A seção apresentada, dedicada à revisão bibliográfica, expôs desde conceitos referentes ao uso da luz natural ao longo do tempo na arquitetura, até suas principais vantagens, a respeito do conforto visual e bem estar do usuário, como também na redução do consumo de energia elétrica. Os conceitos de avaliação e previsão do aproveitamento da iluminação natural em um projeto arquitetônico e o conhecimento do comportamento das diversas fontes luminosas, como também a descrição do objeto de estudo, são fundamentais para a execução do presente trabalho. Todos os aspectos e elementos apresentados referentes à admissão, distribuição e disponibilidade da luz natural fundamentaram o estudo e a escolha dos procedimentos utilizados na metodologia, que será descrita na seção seguinte.

2. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a estratégia de pesquisa e os métodos utilizados para que os objetivos sejam alcançados. A metodologia adotada consiste em um estudo paramétrico, com a utilização da simulação computacional para gerar dados e possibilitar análise comparativa da influência de um conjunto de variáveis, relacionadas ao entorno construído das edificações no espaço urbano, na disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes.

A primeira parte define as características do ambiente a ser estudado. Em seguida, baseados nos instrumentos normativos do município, o Código de Urbanismo e Edificações e o Plano Diretor, são estabelecidos os parâmetros que serão estudados. Por fim, é descrito o *software* selecionado para realizar as simulações computacionais e apresentado o roteiro de análises e tratamento dos dados.

2.1. Características do Ambiente de Referência

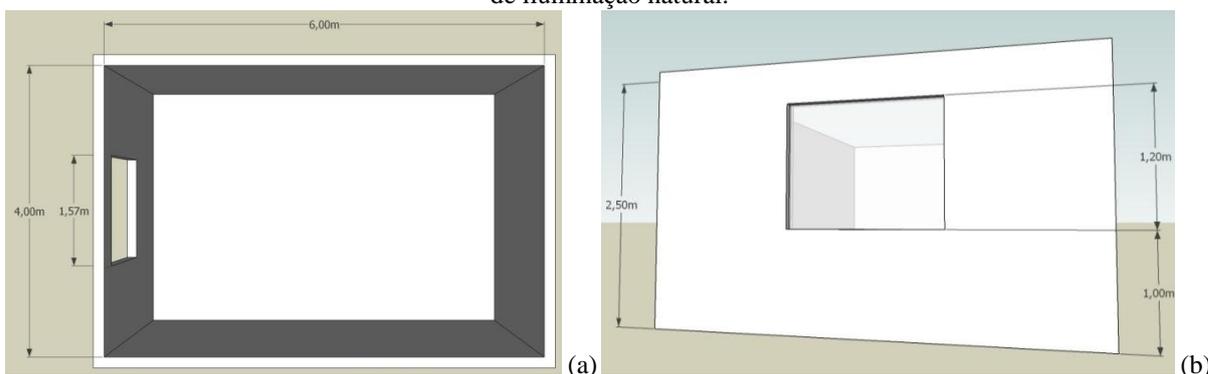
Inicialmente, para realização do trabalho foi escolhido como objeto de estudo a tipologia de edificação multifamiliar, em razão do crescimento urbano no litoral norte de Maceió-AL e a especificidade do gabarito das edificações nessa área. Para simular a disponibilidade de iluminação natural nesse tipo de edificação foi definido um ambiente interno base e tomou-se como referência o Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió-AL – Lei Municipal 5.593/07 (MACEIÓ, 2007), em conjunto com a Norma de Desempenho para Edifícios Habitacionais (NBR 15.575, 2013) e com as diretrizes do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012).

O ambiente é de uso prolongado (quarto e/ou sala). De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió (MACEIÓ, 2007), Capítulo II – Da Ventilação e da Iluminação, na Seção I – Do Dimensionamento dos Compartimentos, classifica salas e cômodos para repouso, lazer, estudo e trabalho como compartimentos de permanência prolongada, que tem como pé-direito mínimo estabelecido a dimensão de 2,50 m (dois metros e cinquenta centímetros).

Ao buscar atender uma área que satisfaça aos padrões mínimos exigidos para o uso residencial, o ambiente apresentou as seguintes dimensões: 4 m de largura por 6 m de profundidade e parede com 15 cm de espessura, o que totaliza uma área de 24 m² (Figura 16 (a)). Em relação às características dos materiais internos, a refletância adotada para o teto foi

de 0,88 (cor branca), a parede com refletância de 0,65 (cor amarelo claro) e por último, o piso com refletância média de 0,3, ao considerar a presença do mobiliário. Apesar de a edificação possuir múltiplos pavimentos, será tido como referência o ambiente localizado no primeiro pavimento tipo, que comumente localiza-se no 1º andar. Esta situação é a menos beneficiada quanto à incidência de luz natural no seu interior devido à presença de obstruções (edificações) externas.

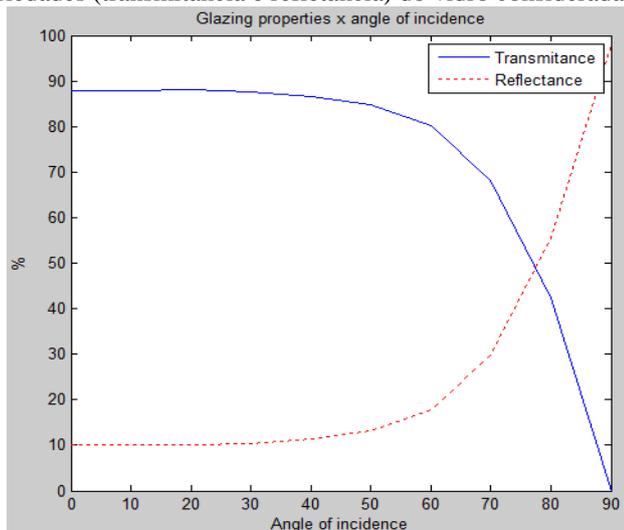
Figura 16- Perspectivas: vista superior (a) e fachada (b) do ambiente interno base para simular a disponibilidade de iluminação natural.



A incidência da luz natural no interior do ambiente se dará através de uma única abertura localizada em uma das paredes de menor dimensão. De acordo com o RTQ-R (BRASIL, 2012), o acesso à iluminação natural em ambientes de permanência prolongada deve ser garantido por uma ou mais aberturas para o exterior. A soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente deve corresponder a no mínimo 12,5% da área útil do ambiente. Se esta área for superior a 15,00 m², o pré-requisito deve ser atendido para 15,00 m². A área restante não precisa ser contabilizada.

Outro parâmetro utilizado para determinar a dimensão da abertura foi o de comunicação com o exterior, determinado pela NBR 15.575 (2013), que por sua vez recomenda que para a iluminação natural das salas de estar e dormitórios, os mesmos devem ser providos de vãos de portas ou de janelas. No caso das janelas, recomenda-se que a cota do peitoril esteja no máximo a 1,00 m do piso interno, e a cota da testeira do vão no máximo a 2,20 m a partir do piso interno. Desse modo, as dimensões da abertura são as seguintes: largura de 1,57 m, altura de 1,20 m e peitoril a 1,00 m do piso (Figura 16 (a) e (b)). A área da janela, que totaliza 1,88 m², será fechada por um vidro transparente simples, material frequentemente adotado nas edificações de Maceió. As propriedades de transmissão e refletância do vidro são representadas no Gráfico 4.

Gráfico 4- Propriedades (transmitância e refletância) do vidro consideradas nas simulações.



Fonte: TropLux 6 (CABUS, 2014).

Vale ressaltar que essas características do ambiente são fixas, o que possibilita a variação de outros parâmetros externos descritos posteriormente e fundamentais para o estudo. Assim, é possível a análise comparativa do ambiente submetido a diferentes situações de obstrução.

2.2. Estudo Paramétrico, Baseado nos Instrumentos Normativos do Município

No meio urbano é importante que os instrumentos normativos da cidade, que têm como objetivo ordenar e organizar o seu crescimento, determinem parâmetros que garantam o acesso à iluminação natural no interior dos ambientes. O presente trabalho, que tem como objeto de estudo uma área com perspectivas de adensamento vertical, toma como referências os parâmetros impostos pelo Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió – Lei Municipal 5.593/07 (MACEIÓ, 2007), para a ZR-5. Os parâmetros selecionados são os seguintes:

2.2.1. Parâmetro: Largura da Via

O estudo se baseia em um local de expansão com algumas áreas sem ocupação e malha urbana minimamente definida. Portanto, foram analisados todos os tipos de vias determinadas pelo Código, já que é possível a futura ocorrência de todas elas nesta área. As quatro dimensões de vias são as seguintes:

- **12 m** de largura, para vias com até 200 m, com 8 m para a pista de rolamento e 2 m de passeio de cada lado;

- **14 m** de largura, para vias acima de 200 m até 600 m, com 9 m para a pista de rolamento e 2,5 m de passeio de cada lado;
- **18 m** de largura, para vias acima de 600 m até 800 m, com 12 m para a pista de rolamento e 3 m de passeio de cada lado.
- **29 m** de largura, para vias acima de 800 m, com o canteiro central de 5m duas pistas de rolamento de 9 m e 3 m de passeio de cada lado, incluindo a ciclovía.

2.2.2. Parâmetro: Altura das Edificações Obstruidoras

Como se pretende avaliar a interferência do entorno urbano construído na iluminação natural de espaços internos, foi adotada a ocupação do solo prevista no Quadro 1 – Parâmetros Urbanísticos por Zonas e Corredores de Atividades Múltiplas presente no Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió (Quadro 1).

Quadro 1- Parâmetros Urbanísticos para Zona Residencial 5 (ZR-5).

Zonas	Usos	Taxa de Ocupação do Terreno Máxima	Altura Máxima da Edificação (nº pavtos)	Testada Mínima do Lote (m)	Área Mínima do Lote (m ²)	Recuo Mínimo		Coeficiente de Aproveitamento do Terreno	Vagas de estacionamento
						Frontal (m)	Laterais e de fundos (m)		
ZR-5	UR-1	60%	2	---	---	5	2	2	Espaço p/ guarda de 01 veículo. (*2)
	UR-4	Para condomínios horizontais, aplicam-se os critérios definidos para o uso UR-1; Para condomínios verticais, aplicam-se os critérios definidos para o uso UR-5.							
	UR-5	50%	10	---	---	$R = 5 + \frac{n-2}{2}$	$R = 1,50 + \frac{n-2}{2}$	4	AC: - até 100m ² : 1 (uma) vaga por unidade.
		35%	15	---	---	$R = 5 + \frac{n-2}{2}$	$R = 1,50 + \frac{n-2}{2}$	4	- acima de 100m ² até 250m ² : 2 (duas) vagas por unidade.
		20%	20	---	---	$R = 5 + \frac{n-2}{2}$	$R = 1,50 + \frac{n-2}{2}$	4	- acima de 250m ² : 3 (três) vagas por unidade.
Comercial, Serviços e Industrial – Grupos I, II, III e IV	A.C. até 70m ² - 80% A.C. até 300m ² - 70% A.C. até 900m ² - 60% A.C. acima de 900m ² - 50%	2 ^(*)	---	---	3	2	2	AC: - até 70m ² : isenta; - de 400m ² a 900m ² : 1 (uma) vaga para cada 75m ² de AC; - acima de 900m ² : 1 (uma) vaga para cada 100m ² de AC.	

AC – Área construída n - número de pavimentos (*) – Exigência para lotes ou terrenos com testada superior a 8,00m.

(*)8) – Podendo chegar até 20 pavimentos, sendo que a partir do 3º piso obedece as regras do uso UR-5.

Fonte: Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió-AL, Lei nº 5354/2007 (MACEIÓ, 2007)

De acordo com a Zona Residencial 5 (ZR-5), referente a implantação na gleba ou no lote de uma edificação multifamiliar com três ou mais pavimentos aplica-se o Uso Residencial 5 (UR-5). Com isso, três taxas de ocupação são permitidas: de 50%, 35% e 20%. Para este trabalho serão consideradas estas três taxas de ocupação e os parâmetros correspondentes, que são os seguintes:

- **50%** taxa de ocupação: altura máxima da edificação 10 pavimentos, o que totaliza a altura de 32 m.
- **35%** taxa de ocupação: altura máxima da edificação 15 pavimentos, o que totaliza a altura de 45 m.
- **20%** taxa de ocupação: altura máxima da edificação 20 pavimentos, o que totaliza a altura de 58 m.

Vale ressaltar que no presente trabalho, não será considerada a variação do nível do terreno. Tanto a edificação estudada, quanto as obstruções externas estão num plano de mesmo nível, o que possibilita a análise comparativa entre os parâmetros.

2.2.3. Parâmetro: Afastamentos Frontais e Laterais das Edificações Obstruidoras

Outro aspecto importante a ser levado em consideração no estudo da disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes é a distância entre as edificações em todas as direções. De acordo com o item anterior, os afastamentos frontais e laterais também são determinados pelo Quadro 1, apresentado anteriormente. Para as três taxas de ocupação apresentadas, seguem os seguintes procedimentos de cálculo, cujo os resultados estão sintetizados na Tabela 1:

- Cálculo do recuo frontal através da Eq. 01, na qual o “n” é o número de pavimentos;

$$R_F = 5 + \frac{n-2}{2} \quad [\text{Eq. 01}]$$

- Cálculo dos recuos laterais e de fundos através da Eq. 02, na qual o “n” é o número de pavimentos;

$$R_{LF} = 1,50 + \frac{n-2}{2} \quad [\text{Eq. 02}]$$

- Coeficiente de Aproveitamento do Terreno: 4, isso indica que pode ser construído um edifício com área total menor ou igual a quatro vezes a área do terreno.

Tabela 1- Valores do recuo frontal e lateral de acordo com o número de pavimentos.

Recuo Frontal da Edificação Obstruidora		Recuo Lateral da Edificação Obstruidora	
Altura Máxima da Edificação (n° pav.)	Recuo Frontal	Altura Máxima da Edificação (n° pav.)	Recuo Lateral e Fundos
10	9 m	10	5,5 m
15	11,5 m	15	8 m
20	14 m	20	10,5 m

No Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió (MACEIÓ, 2007) é destacado também que em novos parcelamentos da ZR5 a testada mínima é de 15 m e a área mínima do lote é de 450 m². Além disso, as fachadas frontais máximas terão 30 m e longitudinais máximas de 60 m.

2.2.4. Parâmetro: Refletância das Superfícies Verticais

Foram considerados dois tipos de superfícies refletoras para o revestimento externo das edificações obstruidoras, visto que a presença tanto de fachadas espelhadas como de materiais rugosos são recorrentes na cidade de Maceió. Para efeito de comparação, no primeiro caso foi adotada a refletância difusa igual a 0,5 para as superfícies externas verticais e no segundo caso, a refletância especular igual a 0,5 para as superfícies externas verticais. Apesar desse parâmetro não fazer parte dos instrumentos normativos, ele contribui para a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente devido à reflexão.

2.2.5. Parâmetro: Altura do Ambiente

Outro aspecto importante a ser analisado, que interfere na disponibilidade de luz natural, é a altura em que o ambiente está situado. Neste parâmetro verificou-se, além do pavimento inferior, outra condição na qual o ambiente em estudo localizado num pavimento intermediário e num superior. Para tal, foi considerada a maior altura de 20 pavimentos, tanto para a obstrução quanto para a edificação que o ambiente está situado, e selecionadas três alturas para localização do ambiente: no 1°, 10° e 20° andar.

Análise paramétrica

De acordo com os objetivos estabelecidos, foram realizadas análises paramétricas, que consideraram o efeito de seis diferentes parâmetros, apresentados a seguir em um quadro síntese (Quadro 2), para quatro orientações de abertura (norte, leste, sul e oeste).

A partir da variação dos parâmetros determinados, o Quadro 3 apresenta o Cenário Base e os outros 18 cenários simulados. O Cenário Base é composto pela menor largura de via de 12 m, altura da edificação onde o ambiente está localizado totalizando 10 pavimentos; obstrução com 20 pavimentos e as superfícies externas com refletância difusa, o que resulta na situação supostamente menos favorável para disponibilidade de luz natural. Cada cenário varia de 1 a 2 parâmetros e fixa os restantes de acordo com o Cenário Base. Todas as análises tomaram sempre como referência um ambiente livre de obstruções, chamado de ambiente Tipo 0 (zero). O código dos diferentes cenários é formado pela abreviação do parâmetro seguido do número de pavimentos da edificação em que o ambiente está localizado e o número de pavimentos da edificação obstruidora.

Quadro 2- Síntese dos parâmetros estudados.

Síntese dos parâmetros estudados				
Largura das vias	12 m	14 m	18 m	29 m
Altura das edificações obstruidoras	10 pav.	15 pav.	20 pav.	-
Afastamentos frontais das edificações obstruidoras	9 m	11,5 m	14 m	-
Afastamentos laterais das edificações obstruidoras	5,5 m	8 m	10,5 m	
Refletância das superfícies verticais	Difusa = 0,5		Especular = 0,5	
Altura do ambiente (andar)	1°	10°	20°	-

Quadro 3- Síntese dos 18 cenários estudados.

Parâmetros	Síntese dos cenários estudados		Largura das vias	Altura da edificação obstruidora	Afastamento Frontal/ Lateral da edificação obstruidora	Refletância superfícies verticais
	1	Cenário Base	12 m	58 m	14 m	Difusa
Largura da Via (LV)	1	LV.12 - 10_20 pav.	12 m	58 m	14 m	Difusa
	2	LV.14 - 10_20 pav.	14 m			
	3	LV.18 - 10_20 pav.	18 m			
	4	LV.29 - 10_20 pav.	29 m			
Altura da Obstrução (HO)	5	HO - 10_10 pav.	12 m	32 m	9 m	Difusa
	6	HO - 10_15 pav.		45m	11,5 m	
	1	HO - 10_20 pav.		58 m	14 m	
Refletância Especular (RE)	7	RE - 10_10 pav.	12 m	32 m	9 m	Especular
	8	RE - 10_15 pav.		45m	11,5 m	
	9	RE - 10_20 pav.		58 m	14 m	
Afastamento Frontal (AF)	10	AF- 10_10 pav.	12 m	32 m	9 m	Difusa
	11	AF- 15_15 pav.		45m	11,5 m	
	12	AF- 20_20 pav.		58 m	14 m	
Afastamento Lateral (AL)	13	AL - 10_10 pav.	-	32 m	5,5 m	Difusa
	14	AL- 15_15 pav.		45m	8 m	
	15	AL - 20_20 pav.		58 m	10,5 m	
Altura do Ambiente (HA)	16	HA.1°- 20_20 pav.	12 m	58 m	14 m	Difusa
	17	HA.10°- 20_20 pav.				
	18	HA. 20°- 20_20 pav.				

As Figura 17 e Figura 18 ilustram a planta baixa e o perfil do Cenário - Base. O terreno foi fixado com dimensões de 51 m x 45 m, com área total de 2.295 m². Os cálculos das dimensões das edificações consideraram as seguintes taxas de ocupação 20%, 35% e 50%, o coeficiente de aproveitamento igual a quatro e a fixação da largura da fachada frontal em 30

m, largura máxima permitida e via com a menor largura de 12 m. Os afastamentos frontais correspondem aos valores determinados para a altura máxima permitida para cada taxa de ocupação.

Figura 17- Ilustração da planta-baixa do cenário V.01 - 10 pav.

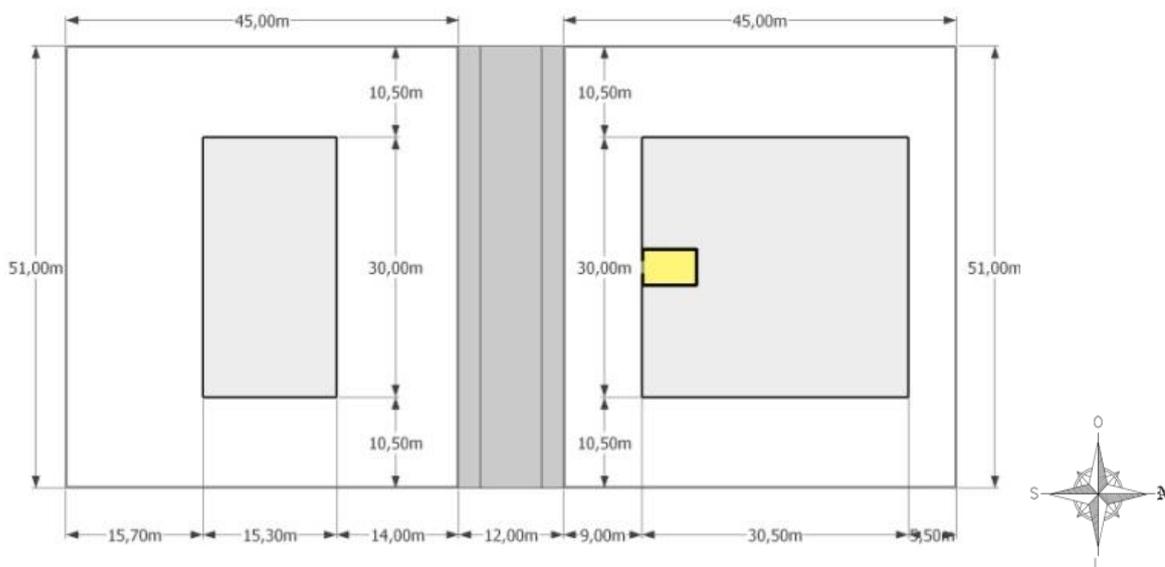
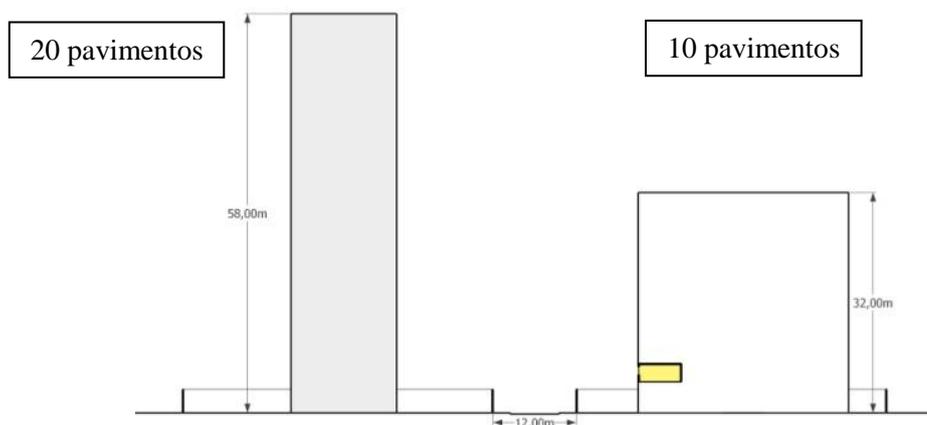


Figura 18- Ilustração do perfil do Cenário Base com o ambiente localizado no edifício de 10 pavimentos e a edificação obstruidora com 20 pavimentos.



2.3. Programa de Simulação Computacional: Troplux

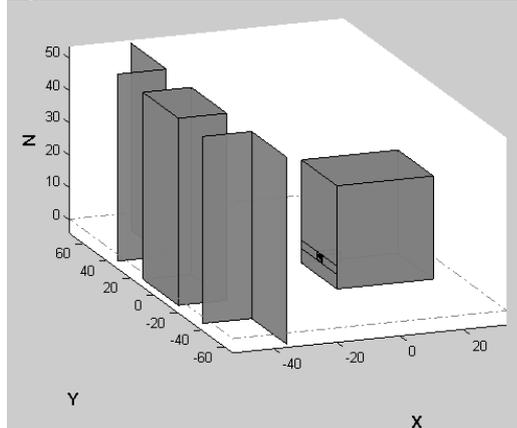
A simulação computacional é uma ferramenta bastante utilizada para aferir a iluminação natural no interior dos ambientes, uma vez que permite a construção de modelos com formas complexas, insere informações dos materiais utilizados e facilita o processamento e obtenção dos dados, o que permite avaliar o ambiente em diferentes horários durante todos

os dias do ano. É um processo que demanda poucos recursos e apresenta precisão e rapidez significativas na determinação de valores de iluminância.

Diante disso, a estimativa dos índices de iluminância para a iluminação natural foi realizada através de simulação no *software* TropLux 6 (CABÚS, 2014), visto que sua principal finalidade é a de simular o desempenho da iluminação natural no interior do ambiente. Em relação ao espaço interno, com esta ferramenta, é possível representar variadas tipologias arquitetônicas, determinar a localização e dimensionamento das aberturas em qualquer parede, inclusive no teto, inserir elementos externos de proteção solar e definir a refletâncias das superfícies internas. Quanto aos elementos do entorno construído da edificação, o programa permite trabalhar com a geometria urbana ao determinar a posição e dimensões das obstruções e características das superfícies refletoras (Figura 19).

No programa TropLux 6 foram inseridas as informações do ambiente em estudo para gerar a volumetria. Em seguida, foram definidos os pontos a serem estimados, as refletâncias internas e os parâmetros como: o tipo de céu; azimute; dias e meses do ano e as horas. Por fim foram utilizados os seguintes dados de saída: valores de iluminância média anual e mensal, valores percentuais de ocorrência de iluminância útil, fator de céu ponderado, coeficientes de variação e isocurvas de iluminância.

Figura 19- Volumetria do cenário base estudado.



Fonte: TropLux 6 (CABÚS, 2014).

2.3.1. Simulações Computacionais

Em todas as simulações do programa TropLux, foram fixados os mesmos parâmetros de local, tipo de céu, período do dia e do ano, orientação, pontos para aferição da iluminância e características do plano de trabalho.

2.3.1.1. Dias e Horários das Simulações

Para avaliar a disponibilidade de luz natural ao longo do dia em função das diferentes trajetórias solares ao longo do ano, foram considerados para simulação todos os dias do ano e nove horas do dia, no período entre 8h e 16h (horário solar), horários em que há maior contribuição do Sol em Maceió para iluminação no interior dos ambientes.

2.3.1.2. Orientações

Para avaliar o desempenho luminoso em diferentes orientações, foi adotada a orientação da via Leste – Oeste, a qual possibilita a orientação da abertura para Norte e para Sul e a orientação da via Norte – Sul, a qual possibilita a orientação da abertura para Oeste e para Leste. Isso permitirá visualizar como a disponibilidade de luz no ambiente interno se comporta para cada orientação e, na presença de obstruções, quais das orientações apresentam maior interferência na quantidade de luz natural.

2.3.1.3. Local e Tipo de Céu

O ambiente em estudo localiza-se na cidade de Maceió (Latitude 9°40'S, Longitude 35°42'O), caracterizada pelo clima tropical úmido, pelo céu parcialmente nublado na maior parte do ano e pela abundante disponibilidade de luz natural. Muitos estudos na área de iluminação natural em Maceió, a exemplo de Souza (2010) e Albuquerque (2010), adotam três tipos céus predominantes para cidade, o céu parcialmente nublado, o encoberto e o claro para realizar as simulações. Segundo Pereira et al. (2008), a maioria dos programas emprega modelos padronizados de céu. Até então, os estudos para Maceió consideravam separadamente esses três tipos de céu, um ano hipotético em que todos os dias são de céu encoberto, outro ano em que todos os dias são de céu parcialmente nublado e outro ano com ocorrência de céu claro. Este procedimento permite a visualização dos resultados separadamente, porém este processo não caracteriza a variabilidade do céu que ocorre a todo o momento durante o dia e ao longo do ano.

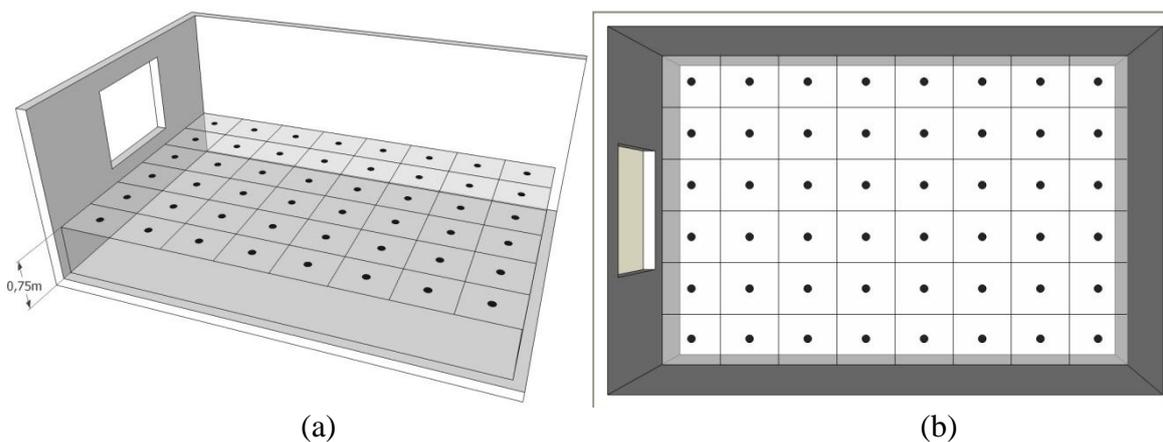
A última versão disponibilizada do programa TropLux tornou possível simular o ambiente submetido a esta inconstância das iluminâncias do céu. A partir da versão 6.0, o programa disponibiliza uma opção chamada céu dinâmico, esta opção considera a variação de tipos céu padrão CIE: CIE 1 (encoberto), CIE 10 (parcialmente nublado) e CIE 14 (claro), de hora em hora, baseada em uma distribuição estatística a partir dos dados climáticos de Maceió retirados da tese de doutorado do Ricardo Cabús (2002). Ao considerar as

possibilidades oferecidas pelo programa, a metodologia utilizada neste trabalho utilizou o céu dinâmico.

2.3.1.4. Plano de Trabalho e Pontos Seleccionados no Interior do Ambiente para Aferição da Iluminância

Não é possível determinar uma altura para área de trabalho que seja comum às diferentes atividades desempenhadas no interior dos ambientes desse tipo de edificação. Com isso, será adotada, conforme a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), a altura para o plano de trabalho de 75 cm em relação ao piso (Figura 20 (a)), essa medida corresponde à altura usual de mesas. Para aferição dos valores de iluminância, esta norma determina que a malha seja composta por pontos a cada 0,8 m da maior dimensão da sala. Para que a distribuição fosse uniforme, foi considerada a malha com pontos a cada 0,75 m, o que totalizou 8 pontos na maior dimensão e 6 pontos na menor dimensão. Portanto foi determinada uma malha com 48 pontos distribuídos igualmente por todo o ambiente (Figura 20 (b)), ou seja, 1 ponto a cada $0,5 \text{ m}^2$ em relação à área de piso do ambiente. Tal malha, atende também a NBR 15.215-4 (ABNT, 2007) que determina neste caso o número mínimo de 16 pontos necessários para verificação do nível de iluminação natural com erro inferior a 10%.

Figura 20- Croqui indicando (a) o plano de trabalho à 75 cm do piso e (b) a malha de 48 pontos para simulação.



2.4. Roteiros de Análises e Tratamento dos Dados

Os resultados obtidos de cada grupo de simulações foram organizados em tabelas e gráficos de forma a facilitar a leitura e análise comparativa entre os mesmos, conforme as etapas descritas a seguir.

Fator de Céu Ponderado (FCP)

Foi identificado para cada um dos 48 pontos simulados no ambiente o fator de céu ponderado, ou seja, a área de céu visível para determinado ponto. O software Troplux 6 gera uma máscara de coeficientes diretos para um ponto, trata-se da área ponderada pela contribuição do céu visível total. A partir desses dados é possível identificar e comparar como as variações dos parâmetros interferem na porcentagem de céu visível.

Iluminância Média Anual (IMA)

Para cada parâmetro foi analisado comparativamente, a partir dos resultados das simulações, o nível de iluminação natural em quantidades absolutas, entre cenários semelhantes. Para tal, foi verificada a iluminância média anual no interior do ambiente. A aplicabilidade deste método pode ser observada em trabalhos anteriores a exemplo de Laranja (2010).

Iluminância Média Mensal (IMM)

Para alguns parâmetros foram elaborados gráficos da iluminância média mensal no ambiente interno, correspondentes à média de cada mês do ano, de 8h às 16h, para as quatro orientações analisadas. A fim de complementar a análise da iluminância média anual (IMA) e a iluminância útil de luz natural (IULN), através da visualização do comportamento da iluminância média para cada mês do ano de cenários com variação do mesmo parâmetro, além do cenário sem obstrução.

Iluminância Útil de Luz Natural (IULN)

Para complementar as análises através da iluminância média anual e mensal, os resultados também foram apresentados em índices relativos. Para a análise da iluminação natural, foram utilizados como referência os intervalos de valores das IULN - Iluminância Útil de Luz Natural (NABIL; MARDALJEVIC, 2006), conceito destacado na seção anterior. A avaliação através da IULN indica que valores menores que 100 lx são considerados insuficientes para o desempenho de tarefas visuais; valores no intervalo entre 100 e 500 lx caracterizam-se como suficientes, mas necessitam de iluminação artificial complementar;

valores no intervalo são considerados suficientes estão entre 500 e 2000 lx, e valores caracterizados como excessivos são maiores que 2000 lx. Esses valores podem variar em função das necessidades visuais em cada ambiente.

Coefficiente de Variação (CV) e Isocurvas

Para a análise da distribuição, o valor médio de iluminâncias no ambiente não representa de forma eficiente as variações existentes, principalmente em ambientes iluminados naturalmente. Desta forma, o efeito dos parâmetros na uniformidade da iluminação natural foi analisado por meio do coeficiente de variação das iluminâncias, durante todo o ano calculado para o período da manhã, das 8h as 12h e para o período da tarde, das 13h as 16h entre os pontos simulados. O coeficiente de variação de Pearson é fornecido pelo TropLux e determina o desempenho da distribuição de iluminância no ambiente ao relacionar distanciamentos em torno de um valor médio, com isto, conforme descrito Cabús (1997), “esse desempenho será tão melhor, quanto menor for o coeficiente de variação”.

A NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) determina que “a uniformidade da iluminância é a razão entre o valor mínimo e o valor médio; e a uniformidade da iluminância na tarefa não deve ser menor que 0,7”, ou 70%. Ribeiro (2014) ao correlacionar quatro parâmetros de análise da distribuição da luz natural, propõe que, para que a uniformidade atenda à NBR ISO/CIE 8995-1, o uso de CV seja menor que 20%.

Para complementar a análise da uniformidade, as variações na distribuição da luz no ambiente foram ilustradas através das isocurvas com os valores de iluminância nos períodos da manhã (das 8h as 12h) e no período da tarde (das 13h as 16h) durante todo o ano. Através do TropLux é possível gerar uma série de isocurvas, que demonstram a forma da distribuição da luz natural no ambiente por meio da representação de curvas com os mesmos valores de iluminância (CABÚS, 2011).

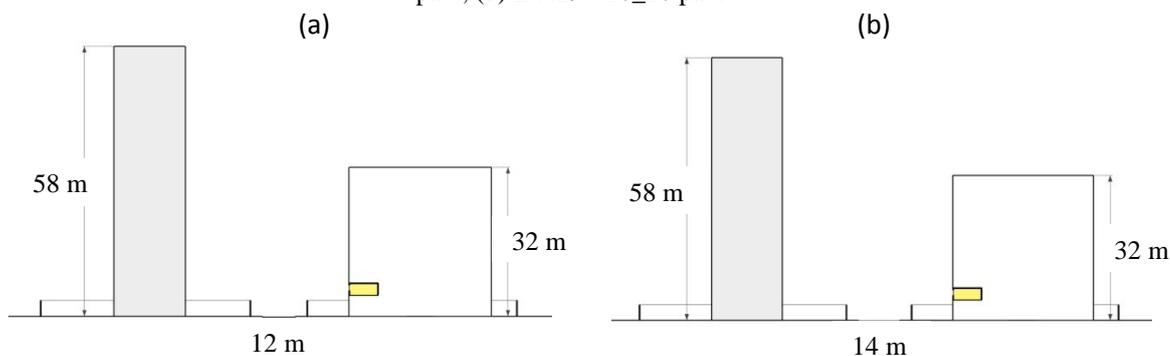
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos através das simulações no programa Tropix 6, de acordo com os objetivos e metodologia propostos. A partir dos dados gerados, foi possível analisar comparativamente os efeitos dos seguintes parâmetros: largura da via, refletância das superfícies verticais externas, altura e afastamento da edificação obstruidora e altura do ambiente na edificação, na quantidade de luz natural disponível no plano de trabalho. Para o estudo, utilizou-se como referência a edificação obstruidora com 20 pavimentos, largura da via 12 m e refletância difusa das superfícies externas, ou seja, a situação menos favorável para obtenção de luz natural no interior do ambiente (edifício com 10 pavimentos, sala analisada no 1º andar).

3.1. Parâmetro - Largura da Via

O primeiro parâmetro analisado foi a largura da via. O Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió – Lei Municipal 5.593/07 (MACEIÓ, 2007), determina quatro larguras de vias possíveis para a área em estudo, que são os seguintes: 12m; 14 m; 18 m; 29 m. As Figura 21 (a), (b), (c) e (d) ilustram os quatro cenários que foram simulados, nos quais varia apenas a largura da via e se mantêm constantes os demais parâmetros: afastamento frontal, altura dos edifícios e refletância das superfícies, além da largura das fachadas frontais, correspondentes ao cenário base. Nesta 1ª série de simulações, quanto maior a largura da via, maior a porcentagem de céu visível como verificado na Figura 22 e conseqüentemente, a possibilidade do aumento da quantidade de iluminação no interior do ambiente.

Figura 21- Ilustração do perfil do cenário: (a) LV.12 - 10_20 pav.; (b) LV.14 - 10_20 pav.; (c) LV.18 - 10_20 pav.; (d) LV.29 - 10_20 pav.



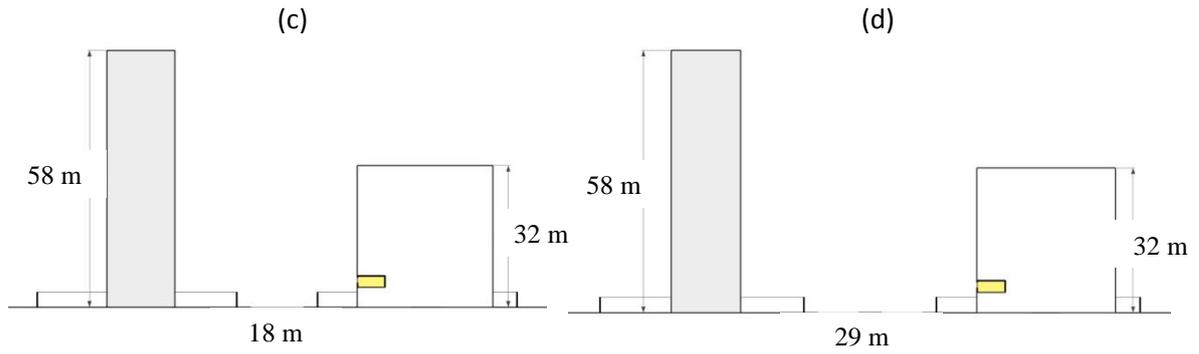
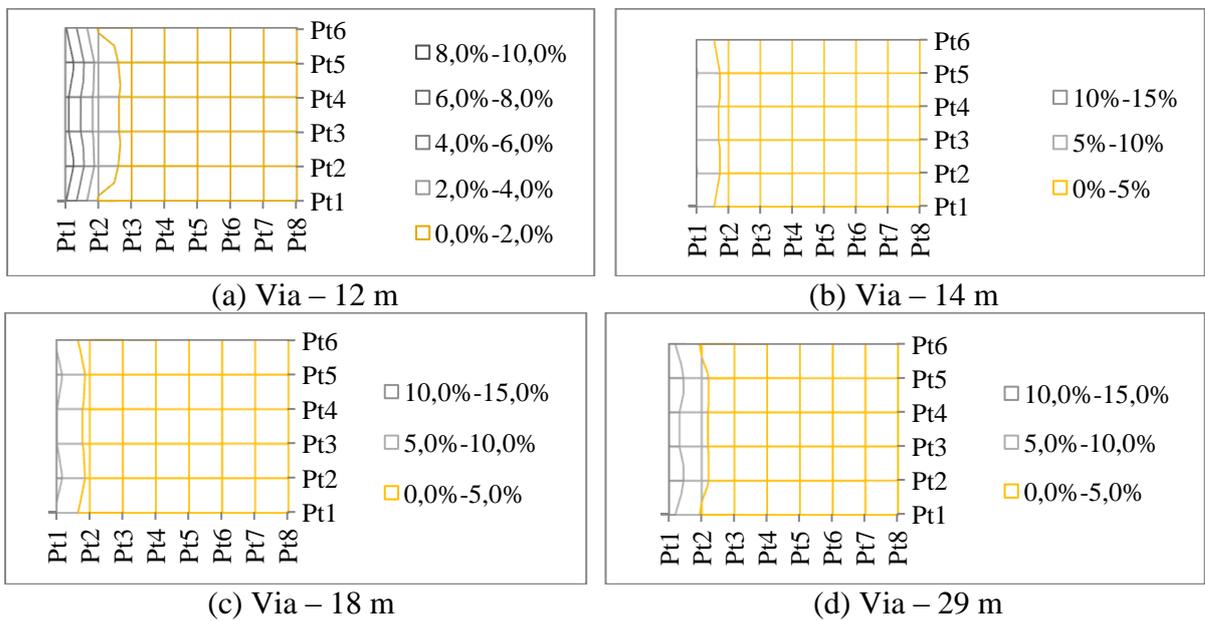
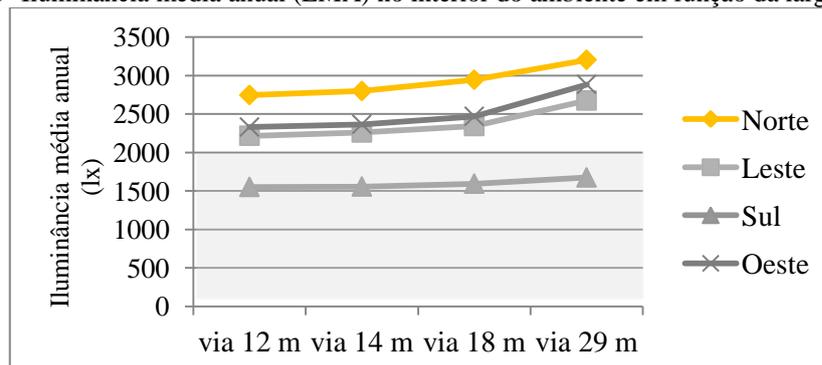


Figura 22- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com largura de via de 12 m (a), 14 m (b), 18 m (c) e 29 m (d).



O Gráfico 5 ilustra o efeito das diferentes larguras de via sobre a iluminância média anual no ambiente interno, simulado para as quatro orientações. Com o aumento da via, o que resulta num maior distanciamento entre o ambiente e a edificação obstruidora, o nível de iluminação natural interna foi crescente em todas as orientações, como esperado.

Gráfico 5- Iluminância média anual (EMA) no interior do ambiente em função da largura de via.

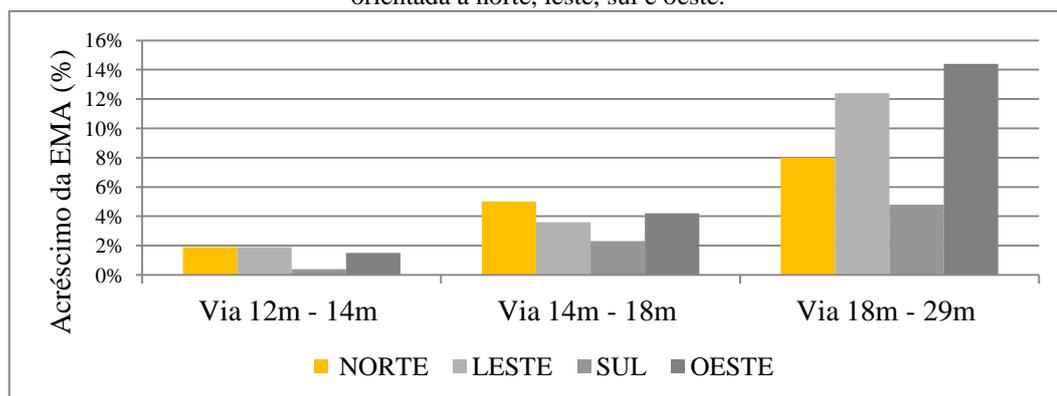


Os gráficos a seguir contém o registro dos percentuais de variação dos valores de iluminância média anual (EMA), resultados que serão referenciados nas análises a seguir. Os dados primários completos podem ser encontrados no apêndice A.

A maior variação encontrada aconteceu ao aumentar a largura da via de 18m para 29 m (Gráfico 6), que apresentou o acréscimo mais significativo de iluminância na orientação oeste de 14,4%, seguido pela orientação leste, com acréscimo de 12,4%.

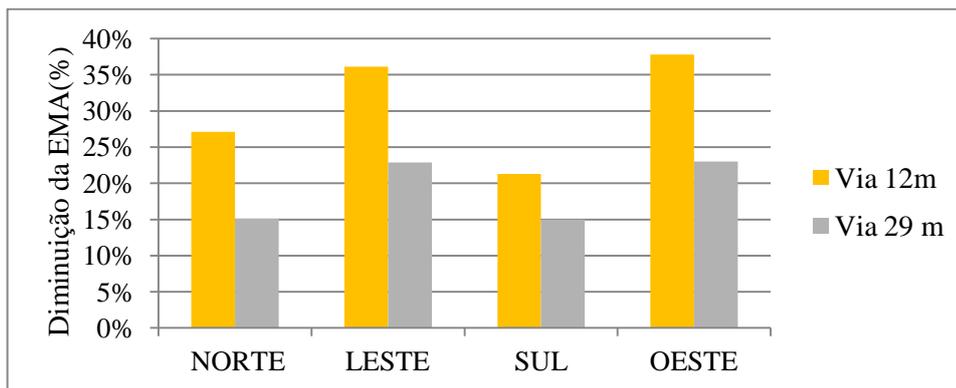
Conforme o Gráfico 6, a menor variação apresentada, conseqüentemente a menor interferência do acréscimo da largura de via, ocorreu ao aumentar a largura da via de 12m para 14 m, com acréscimo entre 0,4% e 2% nas quatro orientações. Os cenários com o ambiente orientado ao sul apresentaram a menor variação no acréscimo da EMA com o aumento da largura de via, com o crescimento de 4,8% quando aumenta a via de 18 m para 29 m e apenas 0,4% quando aumenta a via de 12 m para 14 m.

Gráfico 6- Acréscimo da iluminância média anual (%) em função do aumento da largura da via para a janela orientada a norte, leste, sul e oeste.



Quando comparados os cenários com larguras de vias de 12 m e 29 m, que correspondem às menores e a maiores EMA respectivamente, com o cenário sem obstrução (Gráfico 7) observa-se que a presença da obstrução pode diminuir em até 37,8% a iluminância média anual no ambiente orientado a oeste, ao considerar a via de 12m, e no mínimo 15% no espaço orientado para o sul e norte, ao considerar a via com 29 m de largura.

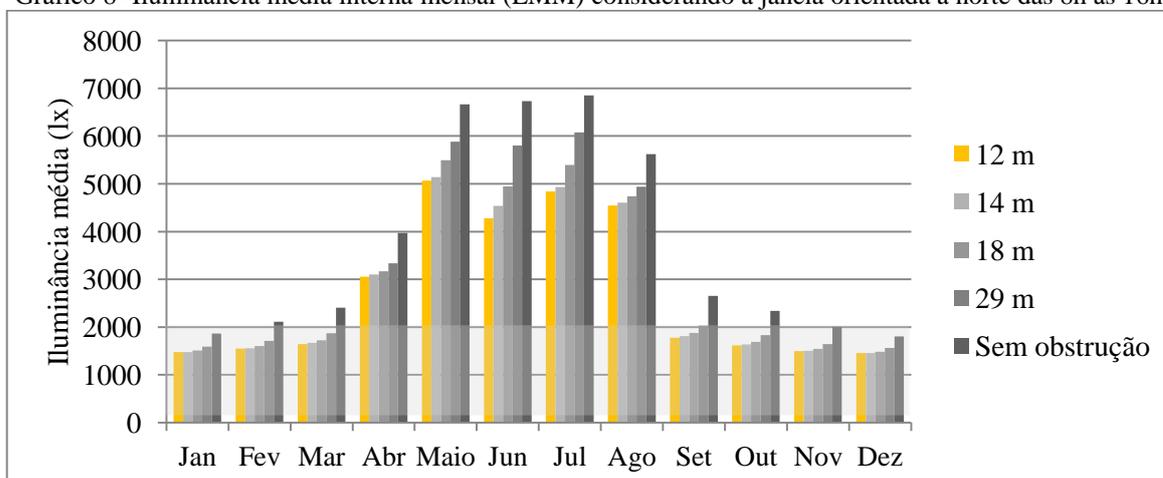
Gráfico 7- Diminuição da iluminância média anual devido à presença de obstrução.



A presença de obstruções geralmente provoca a redução nos níveis de iluminação natural, na medida em que diminui a quantidade de radiação solar que chega ao interior do ambiente. Essa redução varia ao longo dos meses do ano de acordo com a orientação da fachada. Os resultados obtidos para as fachadas norte, sul, leste e oeste são apresentados do Gráfico 8 ao Gráfico 11 a seguir, considerando-se o Cenário Tipo 0 (sem obstrução) e o Cenário – Base com as quatro larguras de via.

Os cenários com a janela orientada a norte atingiram os maiores valores de iluminância média anual (Gráfico 5). Isto se deve a grande quantidade de iluminação solar recebida no meio do ano, nos meses de abril a agosto, como mostra o Gráfico 8. Verifica-se também que, para esta orientação, no início do ano (janeiro, fevereiro e março) e nos últimos meses do ano (setembro, outubro, novembro, dezembro) os valores de iluminância média mensal (EMM) foram mantidos abaixo de 2000 lx, dentro da faixa de iluminância considerada útil.

Gráfico 8- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a norte das 8h às 16h.

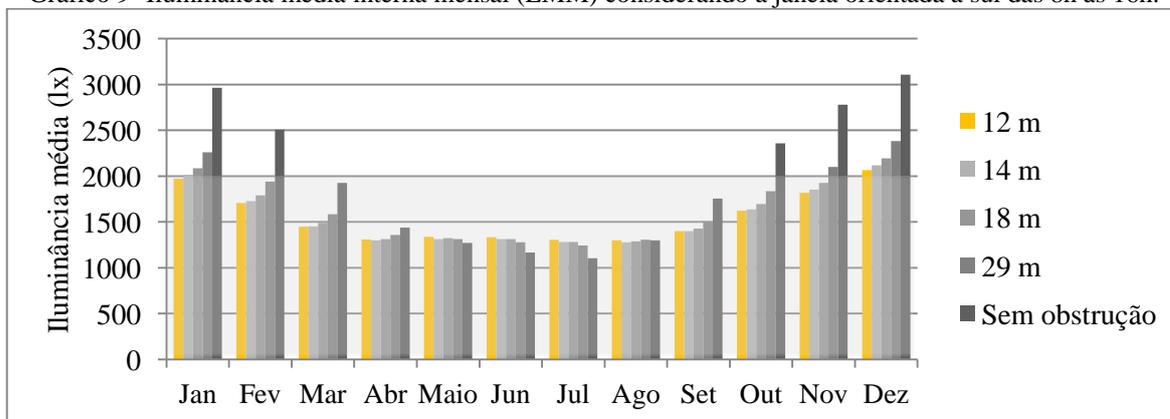


Entre os diferentes cenários de largura de via, houve redução na quantidade de luz natural com a inserção das obstruções. De modo que o cenário com a via de 12 m de largura em grande parte do ano apresentou maior redução no nível de iluminação natural no interior do ambiente ocasionado pela interferência da obstrução, e a via com largura de 29 m apresentou menor interferência da obstrução na redução dos valores de EMA como verificado no Gráfico 8 ao Gráfico 11.

Ao contrário da orientação norte, na janela orientada ao sul (Gráfico 9) a incidência de luz solar é menor durante o meio do ano, nos meses de fevereiro a outubro, com o nível de iluminação abaixo de 1500 lx. No começo e no final do ano, a iluminância média mensal aumenta, mas somente no mês de dezembro todos os cenários ultrapassam a faixa de 2000 lx. Em janeiro, as vias de 18 m e 29 m atingiram valores acima de 2000 lx e em novembro, apenas a via de 29 m (Gráfico 9). Para esta orientação, os maiores valores de iluminância atingidos foram em torno de 2.000 lx.

Assim como observado na orientação norte, na orientação sul houve nas diferentes larguras de via um decréscimo da EMM com a presença da obstrução, exceto para os meses de maio, junho e julho, onde o nível de iluminação no interior aumentou com a inserção da obstrução. Isto provavelmente aconteceu devido à reflexão da luz para o interior do ambiente ocasionada pela obstrução, o que contribuiu para aumentar EMM, já que a incidência de luz solar direta é menor a se tratar da orientação sul.

Gráfico 9- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.



Como esperado, os cenários nos quais a janela está orientada a leste e a oeste apresentaram semelhança no comportamento ao longo do ano, conforme observa-se nos

Gráfico 10 e Gráfico 11. O ambiente recebe uma quantidade de luz natural regular ao longo dos meses, em torno de 2000 lx à 3000 lx. Ou seja, durante todo ano, todas as larguras de via, inclusive a menor largura de via de 12 m, atingiu a faixa de iluminância excessiva acima de 2.000 lx, exceto no mês de junho, no qual as vias de 12 m, 14m e 18m permanecem dentro faixa útil e a via com 29 m permanece com os valores abaixo de 2000 lx apenas na orientação leste.

Gráfico 10- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a leste das 8h às 16h.

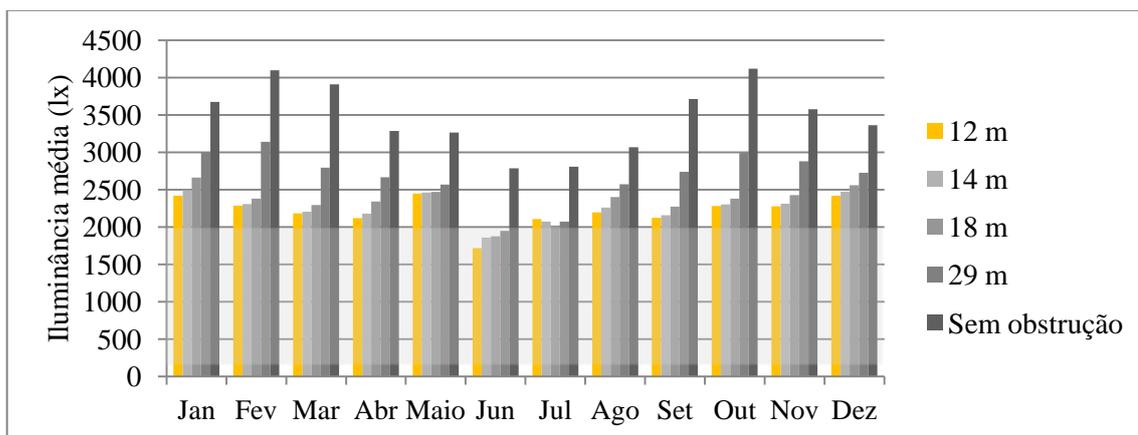
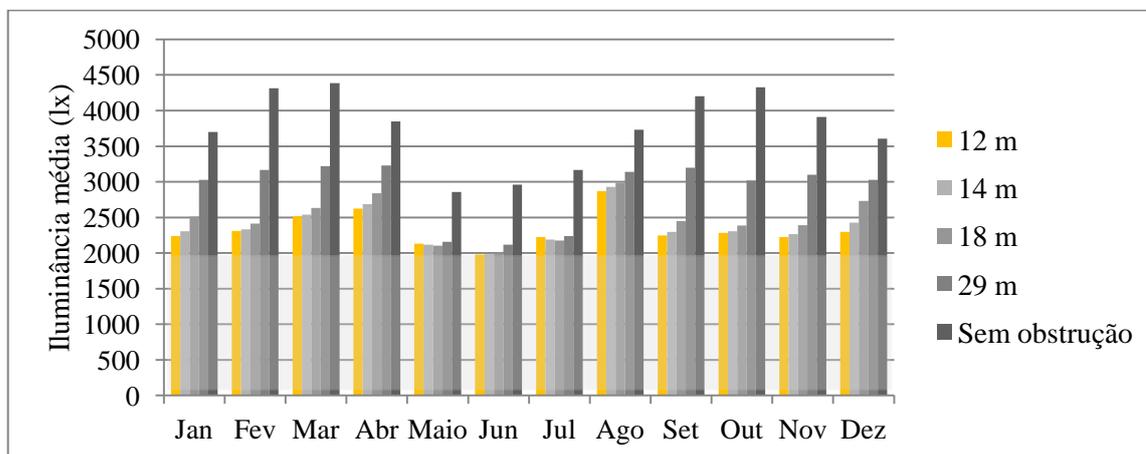


Gráfico 11- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a oeste das 8h às 16h.

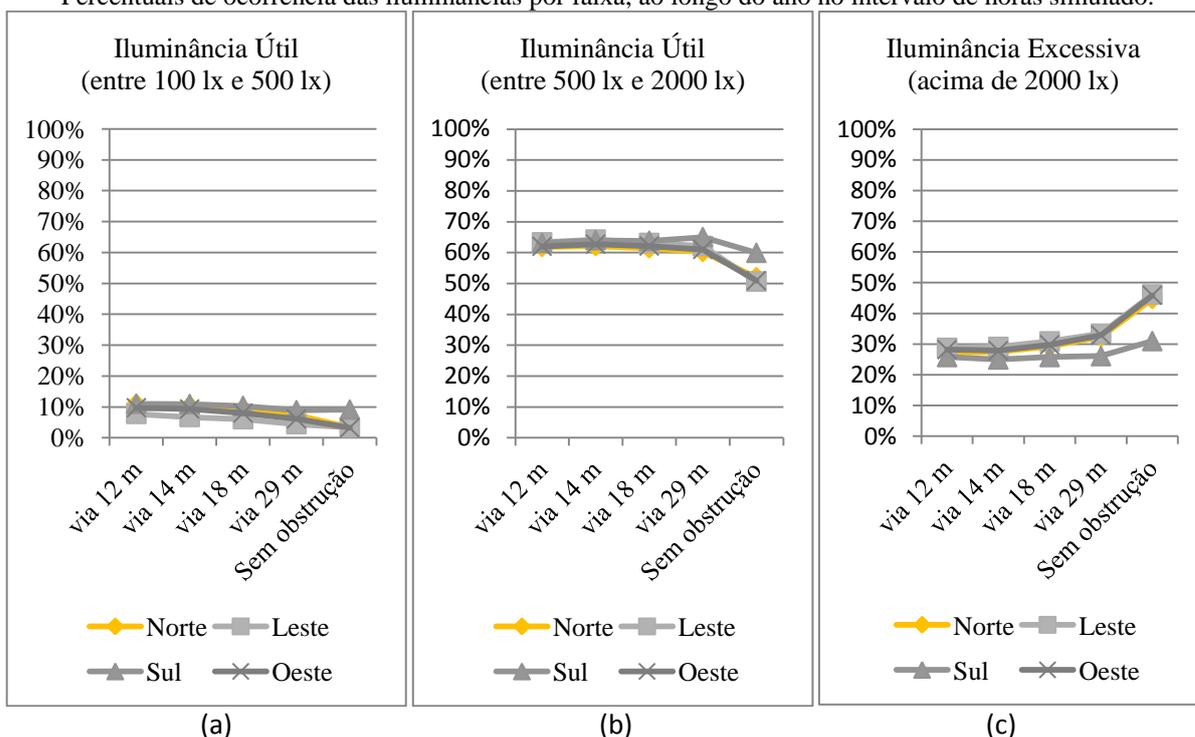


Classificação através da IULN

A partir dos dados obtidos, utilizaram-se como referência os intervalos de valores das IULN - Iluminância Útil de Luz Natural para analisar o parâmetro. Na faixa abaixo de 100 lx, que é considerada iluminância insuficiente, todas as larguras de vias estudadas atingiram apenas 1% das horas simuladas. Em relação ao intervalo de 100 a 500 lx, no qual os níveis de

iluminância são considerados eficazes, mas podem necessitar de uma complementação de sistemas artificiais de iluminação, a via com largura de 12 m apresentou os maiores percentuais de ocorrência nesse intervalo, atingiu 11% no ambiente orientado ao sul, conforme o Gráfico 12 (a).

Gráfico 12- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias por faixa, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.



O intervalo compreendido entre 500 a 2000 lux representa valores de iluminâncias considerado como desejável. Neste intervalo, todas as larguras de vias estudadas apresentaram valores percentuais aproximados. Atingiram-se os maiores percentuais na orientação leste e sul em torno de 63% (Gráfico 12 (b)). Os valores acima de 2.000 lx são considerados níveis de iluminação excessivos. A via de 29 m de largura apresentou os maiores percentuais nessa faixa, o maior alcançado foi de 33,4% na orientação leste (Gráfico 12 (c)).

Todas as quatro situações apresentaram a maior frequência de iluminâncias dentro do intervalo definido como útil, de 100 a 2.000 lx. Isso indica que existe um bom aproveitamento da iluminação natural no interior do ambiente estudado. Entre os quatro casos de largura de via, as vias com 12m, 14m e 18 m tratam-se dos cenários que apresentaram maior parte da porcentagem no intervalo útil, em torno de 70% das horas simuladas.

O ambiente orientado ao sul apresenta os maiores percentuais que se encontram no intervalo útil compreendido entre 100 a 2.000 lx, o que indica que esta orientação é a mais

propícia ao melhor aproveitamento da luz natural no interior do ambiente nos cenários ora considerados.

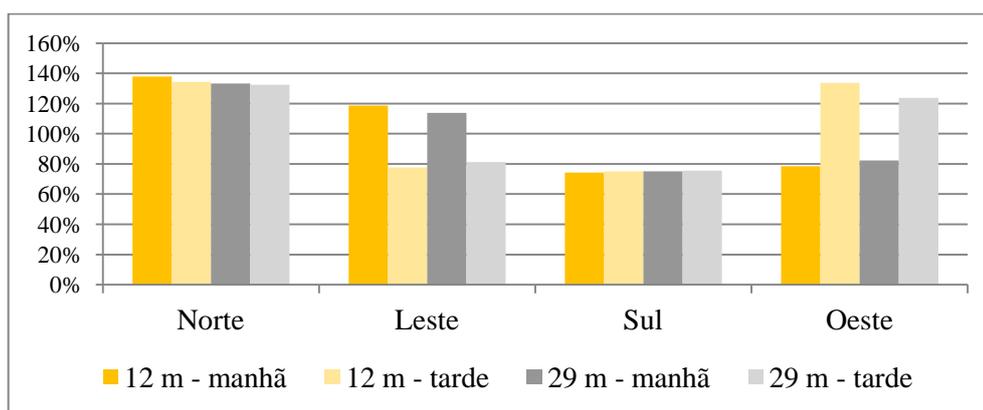
Uniformidade da iluminação

As análises a seguir referem-se ao efeito da via de menor e maior largura, de 12 m e 29 m na uniformidade da luz natural, que apresentaram os menores e os maiores valores de EMA respectivamente. O Gráfico 13 apresenta os resultados obtidos para o efeito da largura da via no coeficiente de variação (CV) das iluminâncias obtidas durante todo ano no período da manhã de 8h as 12h e no período da tarde das 13h as 16h.

Os resultados indicaram valores do coeficiente de variação muito acima do recomendado (abaixo de 20%) para as duas larguras de vias em todas as orientações. Isto indica pouca uniformidade da iluminação natural no interior do espaço. A janela orientada a norte apresentou os maiores valores do CV, principalmente na via de 12 m que apresentou 138% no período da manhã.

Os menores valores do coeficiente de variação, o que indica uma maior uniformidade da iluminação, foram obtidos na janela orientada a sul para as duas larguras de vias analisadas no período da manhã e da tarde, que variou de 74% a 75,5%, e também na orientação leste no período da tarde e a oeste no período da manhã, onde não há incidência de luz solar direta, principalmente na via com 12 m que atingiu CV de 77,7% leste e 78,6% oeste.

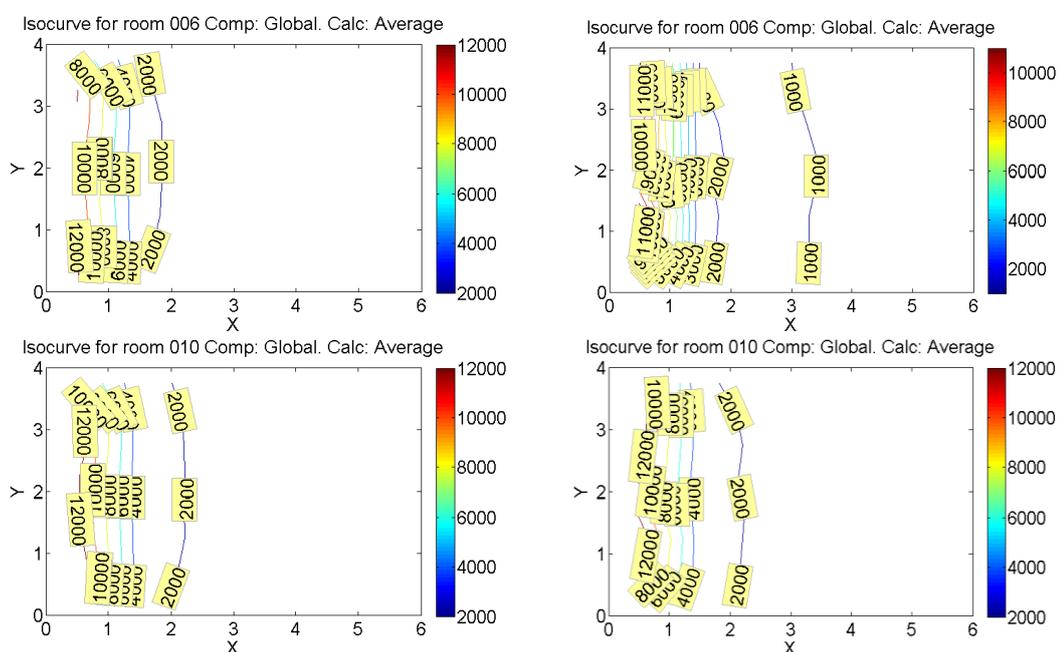
Gráfico 13- Influência da largura da via no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as vias de 12 m e 29 m de largura.



Devido a incidência direta de luz solar no período da manhã para janela orientada a leste e no período da tarde para janela orientada a oeste, os resultados apontaram uma menor uniformidade da iluminação nesses períodos de incidência de luz direta, principalmente para via de 12 m que atingiu CV de 118,7% leste e 133,7% oeste.

O coeficiente de variação relaciona distanciamentos em torno de um valor médio, de modo que ele não demonstra a forma de distribuição física da luz no ambiente. Nas Figura 23 e Figura 24 são ilustradas as isocurvas dos valores de iluminância média anual no plano de trabalho para as orientações norte e sul, no período da manhã das 8h as 12h e o período da tarde das 13h as 16h. As isocurvas para a janela orientada a leste e oeste podem ser encontradas no apêndice B. Estas figuras consistem da visualização gráfica que complementa a análise das variações numéricas registradas anteriormente.

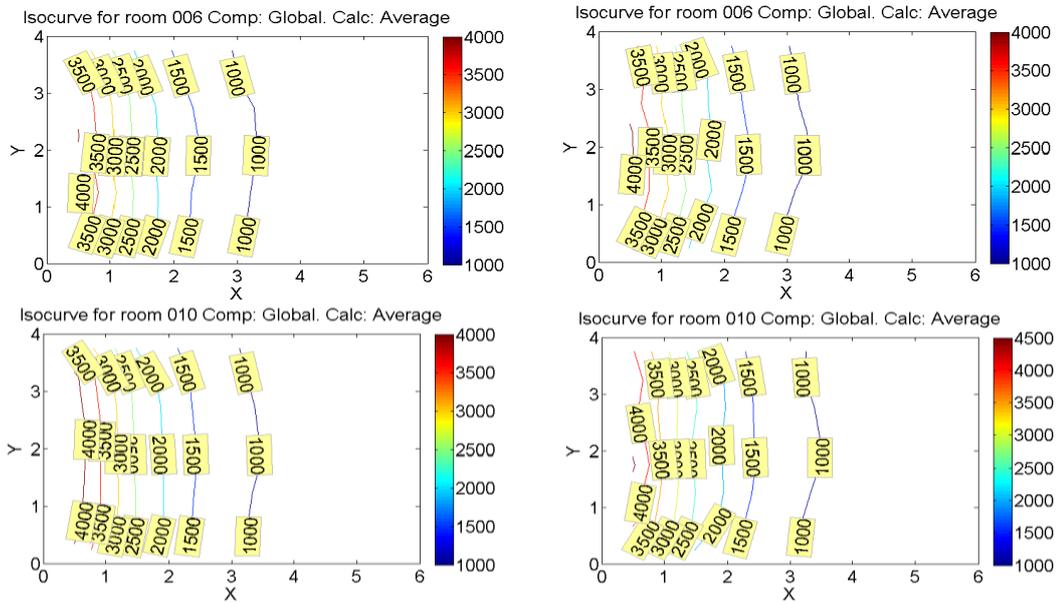
Figura 23- Isocurvas de iluminância para os cenários com largura de via de 12 m (acima) e 29 m (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.



No geral, a presença de iluminância excessiva se dá nos dois primeiros metros do ambiente para as duas situações e em todas as orientações. Justamente há a elevação da iluminância nesta área ao alargar a via de 12 m para 29 m que faz com que os resultados apontem o cenário com a via de 29 m com os maiores valores de EMA.

Na metade da sala próxima a janela é onde ocorre a maior variação na distribuição, já a outra metade da sala mais ao fundo há uma maior uniformidade da iluminação que varia entre 1.000 lx e 2.000 lx, ou seja, dentro da faixa útil de iluminação. Observa-se que a janela orientada a sul (Figura 24) apresenta melhor distribuição da iluminação no plano de trabalho tanto para a via com 12 m quanto para a via com 29 m de largura em comparação ao ambiente com janela voltada para norte.

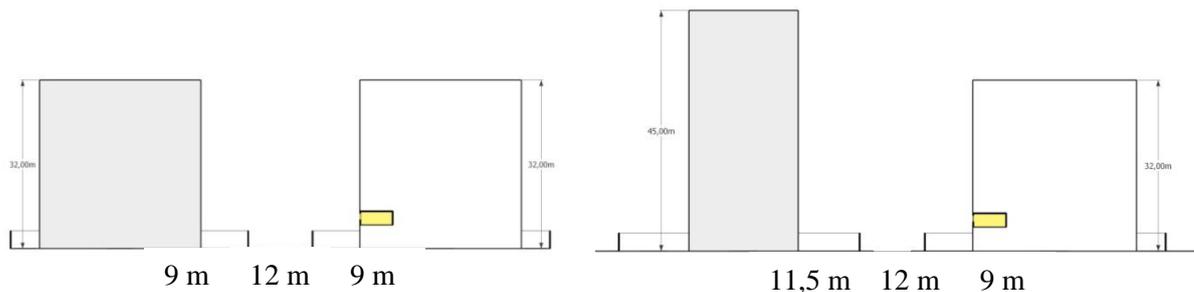
Figura 24- Isocurvas de iluminância para os cenários com largura de via de 12 m (acima) e 29 m (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.



3.2. Parâmetro – Altura da Edificação Obstruidora

Há três possibilidades de taxa de ocupação do terreno na área estudada que correspondem a edificações de 10, 15 e 20 pavimentos. Portanto neste parâmetro, o ambiente é submetido a edificações obstruidoras com essas três diferentes alturas. As Figura 25 (a), (b) e (c) ilustram os três cenários que foram simulados, nos quais varia apenas a altura da obstrução e consequentemente, o afastamento frontal correspondente a cada taxa de ocupação, e se mantém constante os demais parâmetros: largura da via e refletância das superfícies, bem como a largura das fachadas frontais. Para este caso, também foram analisadas as quatro orientações: norte, leste, sul e oeste. Assim, em princípio, quanto maior a obstrução, menor a porcentagem de céu visível (Figura 26) e maior a possibilidade de diminuir a iluminação no interior do ambiente.

Figura 25- Ilustração do perfil do cenário: (a) HO - 10_10 pav.; (b) HO - 10_15 pav.; (c) HO - 10_20 pav.



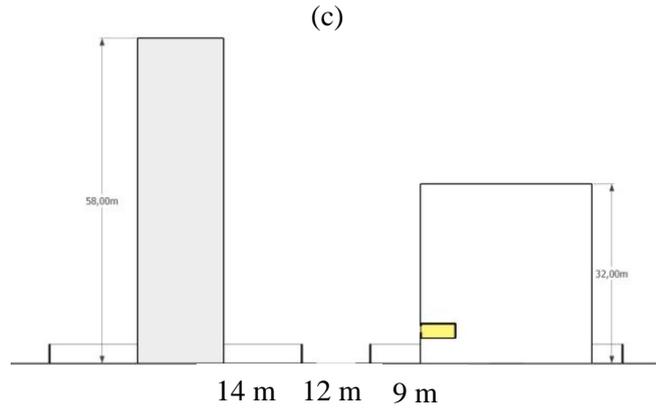
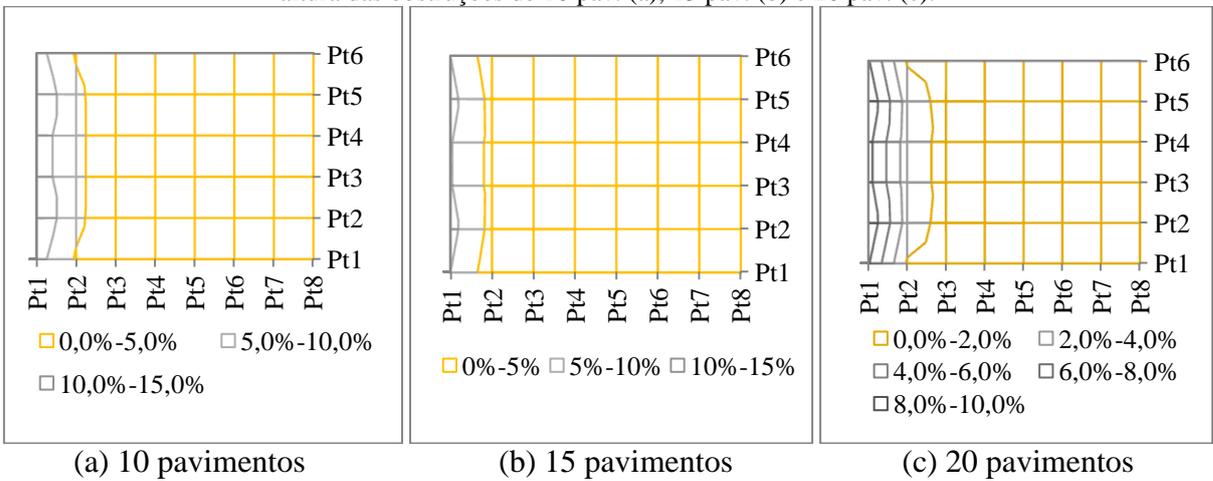
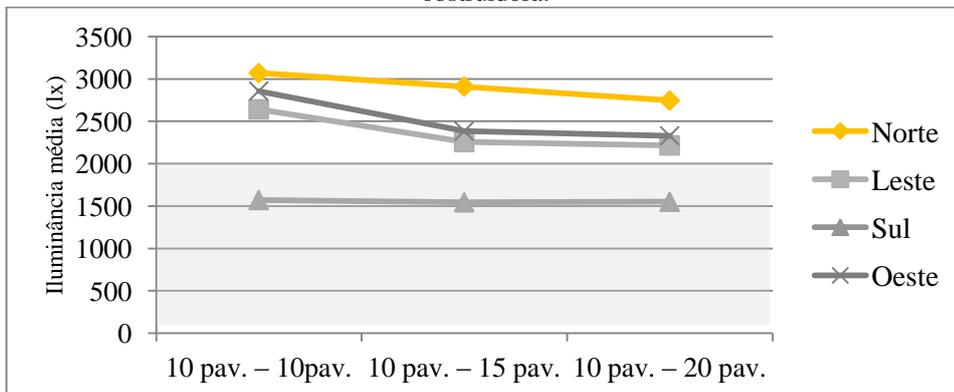


Figura 26- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com a altura das obstruções de 10 pav. (a), 15 pav. (b) e 20 pav. (c).



Com o aumento da altura da obstrução, observou-se que nas orientações norte, oeste e leste, mesmo com o acréscimo dos valores do afastamento frontal calculado para cada taxa de ocupação, a porcentagem de céu visível foi decrescente e o nível de iluminação natural diminuiu no interior do ambiente (Gráfico 14).

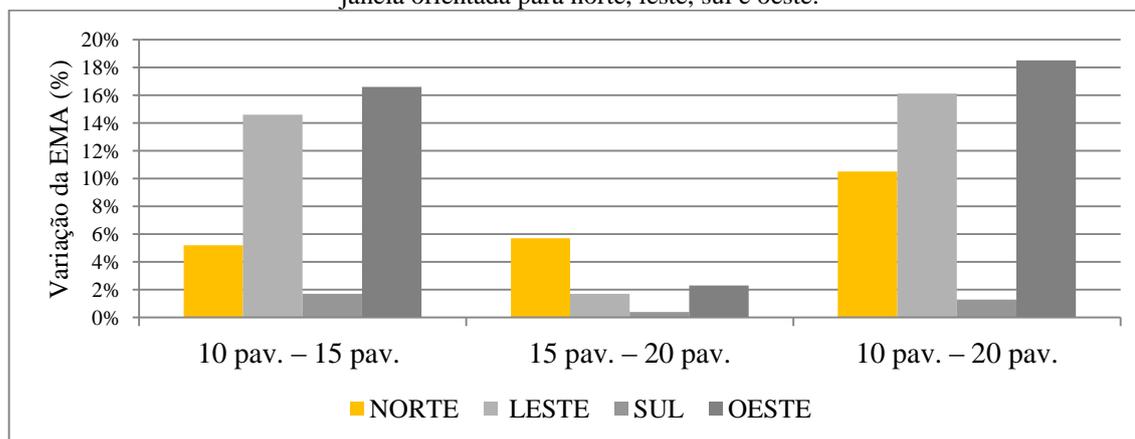
Gráfico 14- Iluminância média anual (EMA) no interior do ambiente em função da altura da edificação obstruidora.



A pouca variação dos valores de EMA entre os cenários indica que independentemente da presença dos três tipos de obstrução dos cenários estudados, a EMA disponível no interior do ambiente será semelhante, isto ocorre ao comparar a presença da obstrução de 15 pavimentos com a de 20 pavimentos, como pode observar no Gráfico 15 os valores de EMA entre os dois cenários apresenta as menores variações entre 0,4% e 5,7%. Na orientação oeste e leste, observam-se as maiores diferenças nos valores de EMA de 16,6% e 14,6% ao aumentar a obstrução de 10 pavimentos para 15 pavimentos e de 18,5% e 16,1% ao elevar de 10 para 20 pavimentos. Na abertura orientada para norte, esse variação de EMA é mais regular ao comparar a edificação obstruidora de 10 para 15 pavimentos e de 15 para 20 pavimentos, o que representa uma diferença da EMA de 5,2% na primeira situação e 5,7% na segunda situação.

Na orientação sul, os três cenários apresentam valores de EMA aproximados (Gráfico 14), ou seja, o aumento da altura da obstrução para esta orientação interfere sutilmente na variação do nível de iluminação natural no interior do ambiente, como se observa no Gráfico 15. Isto se verifica também no Gráfico 16, o qual apresenta praticamente a mesma redução de EMA no ambiente interno quando exposto às três alturas de edificação obstruidora, ao comparar com o cenário sem obstrução.

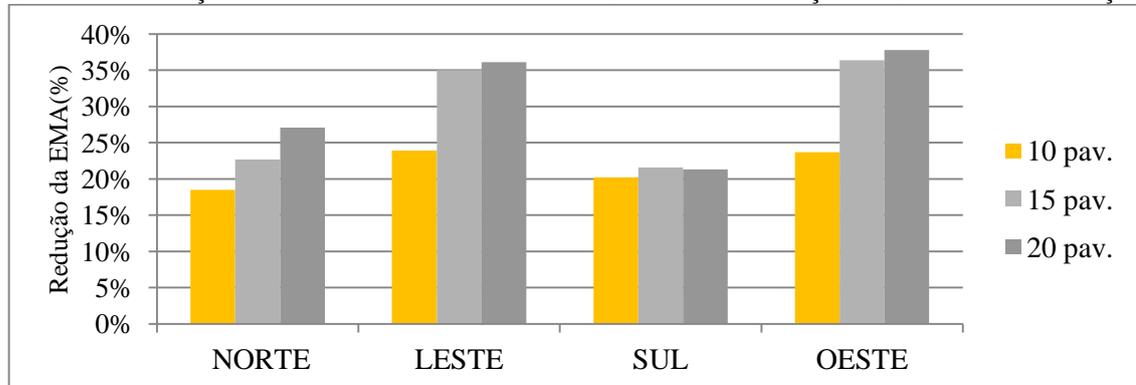
Gráfico 15- Variação da iluminância média anual (%) em função do aumento da edificação obstruidora, para janela orientada para norte, leste, sul e oeste.



Quando comparado o cenário sem obstrução com os três cenários com obstrução de diferentes alturas há redução da iluminação natural no interior do ambiente nas três situações para todas as orientações. A situação com a edificação obstruidora de 20 pavimentos apresenta a maior redução da EMA, de 37,8% na orientação oeste, enquanto que a menor

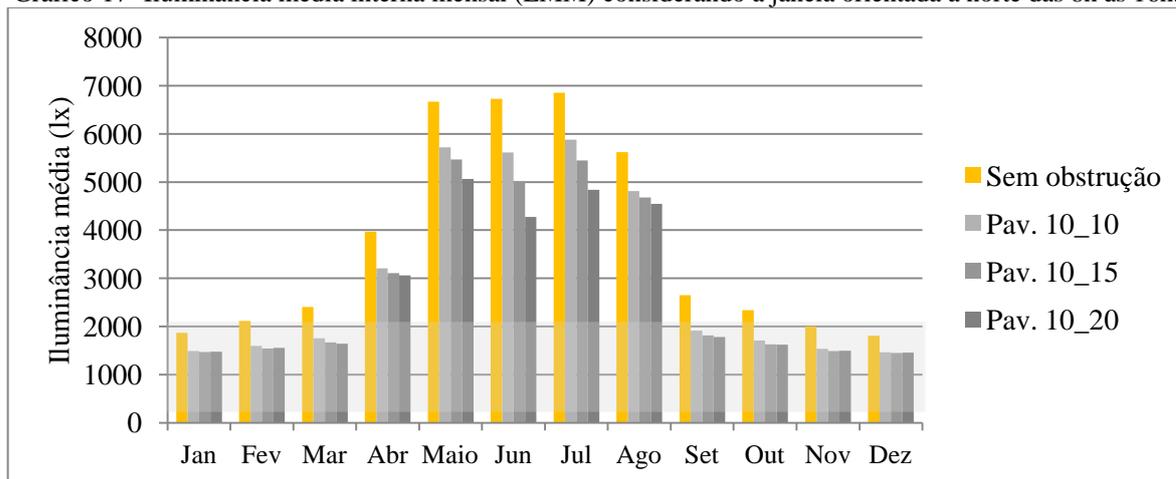
redução no nível de iluminação natural, de 18,5% na janela orientada a norte (Gráfico 16), é observada no cenário com obstrução de 10 pavimentos.

Gráfico 16- Redução da iluminância média anual entre Cenário sem obstrução e o Cenário com obstrução.



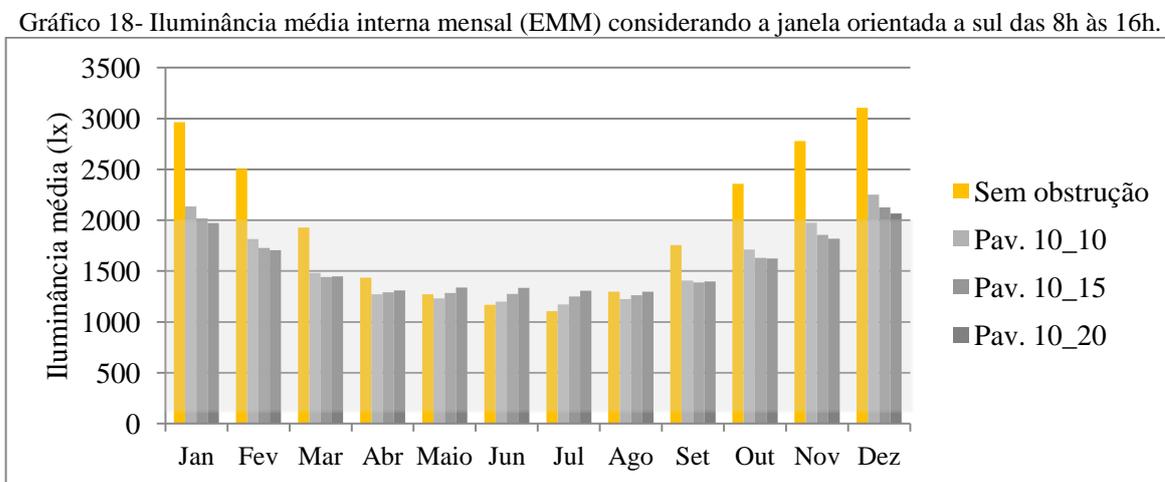
Ao observar a iluminância média mensal dos três cenários relativos ao parâmetro altura da obstrução, notou-se um comportamento semelhante ao parâmetro anterior, largura de via. Os cenários com a janela orientada a norte atingiram os maiores valores de iluminância média mensal no meio do ano, nos meses de abril a agosto. Por meio do Gráfico 17, também se verifica que no início do ano (janeiro, fevereiro e março) e nos últimos meses do ano (setembro, outubro, novembro, dezembro), os valores de iluminância média mensal (EMM) foram mantidos abaixo de 2000 lx, na faixa de iluminância útil.

Gráfico 17- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a norte das 8h às 16h.



Oposto ao verificado nos cenários com a abertura orientada a norte, a orientação sul recebe menor incidência de luz solar no meio do ano. Nos meses de fevereiro a novembro o nível de iluminação manteve-se abaixo de 1500 lx. No começo e no final do ano, a iluminância média mensal ultrapassa 1500 lx, mas somente no mês de dezembro todos os

cenários ultrapassam a faixa de 2000 lx e em janeiro o ambiente exposto à obstrução de 10 pavimentos atingiu valores acima de 2000 lx (Gráfico 18). Para esta orientação, os maiores valores de iluminância média mensal alcançados foram em torno de 2.000 lx.



Tal como foi observado no parâmetro anterior. No ambiente com janela voltada para a orientação sul houve um decréscimo da EMM com a presença da obstrução, exceto neste caso para os meses de abril a agosto, onde o nível de iluminação no interior aumentou com a inserção da obstrução. Neste caso, quanto maior a obstrução, maior a EMM no interior do ambiente. Tal resultado deve-se ao papel exercido pela obstrução de refletir luz natural para o interior do ambiente, o que contribui para aumentar o nível de iluminação, visto que a incidência de luz solar direta é menor para referida orientação.

Conforme é observado no Gráfico 19 e Gráfico 2020, na orientação leste e oeste o ambiente recebe uma quantidade de luz natural regular ao longo dos meses, entre 2.000 lx e 3.000 lx, semelhante aos resultados obtidos para as simulações do parâmetro largura de via. Durante todos os meses, os três cenários, inclusive o de maior altura (obstrução de 20 pavimentos), atingiram a faixa de iluminância excessiva acima de 2.000 lx, exceto no mês de junho, no qual o ambiente exposto à obstrução com 20 pavimentos permaneceu dentro da faixa útil, com os valores abaixo de 2000 lx.

Verifica-se também, através destes gráficos, que no início e no final do ano, onde se atinge os maiores valores de EMM, as obstruções de 15 e 20 pavimentos interferem de forma mais significativa no nível de iluminação no interior do ambiente. Isto deve ocorrer devido aos raios solares nesta orientação serem perpendiculares em relação à janela, de modo que as edificações obstruidoras maiores impedem a incidência de luz solar direta no interior do ambiente.

Gráfico 19- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a leste das 8h às 16h.

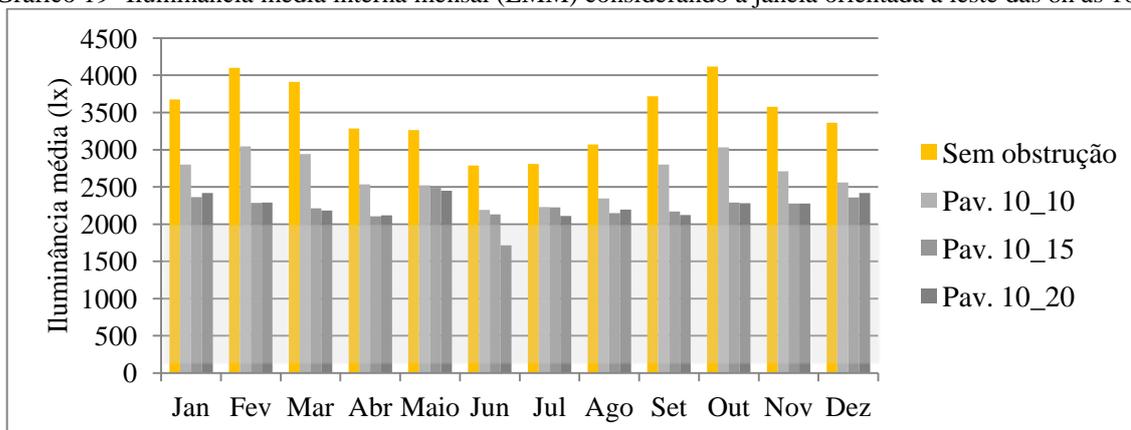
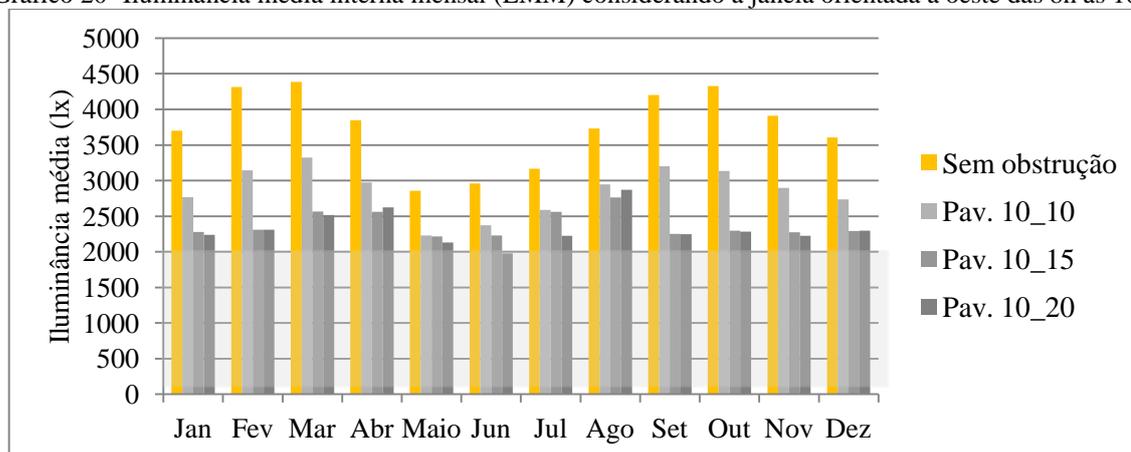


Gráfico 20- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a oeste das 8h às 16h.



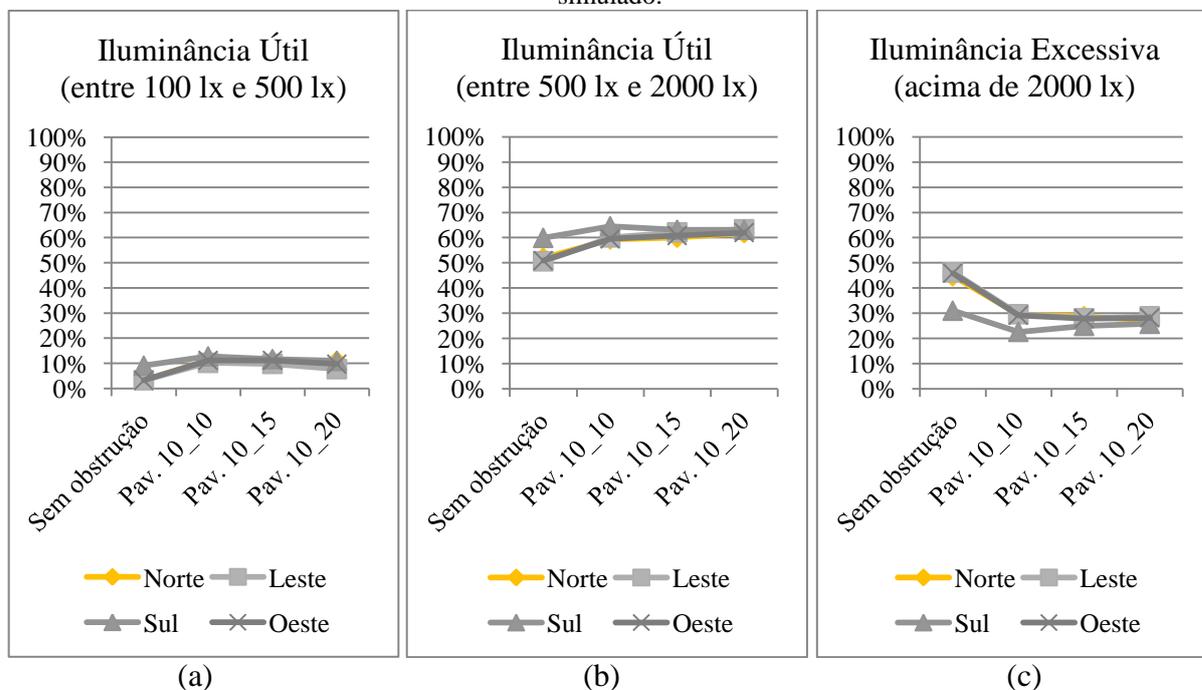
Classificação através da IULN

Por meio do Gráfico 21 (a), observa-se que no intervalo de 100 a 500 lx, caracterizado pela necessidade de integração com a luz artificial, o ambiente exposto à obstrução de 10 pavimentos possui os maiores valores de porcentagem, principalmente na orientação sul, com 12,8%.

O ambiente exposto à obstrução de 10 pavimentos apresentou elevados valores de EMA, o que justifica os menores valores de porcentagem dentro da faixa útil compreendida entre 100 lx a 2000 lx ao longo do ano, exceto na orientação sul, que atingiu a maior porcentagem no intervalo útil, com o alcance de 77,3%. Devido a orientação sul receber uma significativa contribuição da luz refletida pela obstrução para a iluminação no interior do

ambiente nos meses de abril a agosto, o cenário com a menor obstrução permitiu uma maior ocorrência, ao longo do ano, da iluminância útil no interior do ambiente (Gráfico 21).

Gráfico 21- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.



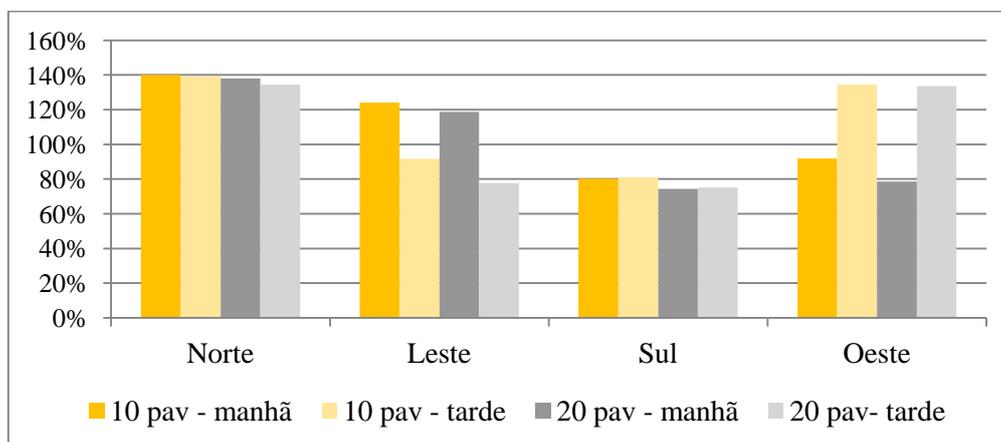
Por meio do Gráfico 21 (a) e (b), verifica-se que o ambiente submetido à obstrução de 20 pavimentos apresenta a maior parte dos percentuais dentro do intervalo útil de 100 a 2.000 lx, principalmente na subfaixa de 500 lx a 2.000 lx, que por sua vez não necessita de complementação da luz artificial. Isto resulta em menores percentuais na faixa de iluminância excessiva, uma vez que a porcentagem corresponde a 0,1% na faixa abaixo de 100 lx para todas as situações estudadas. No geral, diante das três diferentes alturas de obstrução, o ambiente apresentou um bom aproveitamento da luz natural no interior do ambiente para as quatro as orientações, atingiu-se em torno de 70% das horas simuladas ao longo do ano a faixa útil entre 100 lx e 2000 lx.

Uniformidade da iluminação

Este item refere-se ao efeito da menor e maior altura da edificação obstruidora, de 10 e 20 pavimentos, que apresentaram os maiores e os menores valores de EMA, respectivamente, na uniformidade da luz natural. O Gráfico 22 apresenta os resultados obtidos para o efeito da

altura da obstrução no coeficiente de variação (CV) das iluminâncias obtidas durante todo ano no período da manhã de 8h as 12h e no período da tarde das 13h as 16h.

Gráfico 22- Influência da altura da obstrução no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as obstruções de 10 e 20 pavimentos.



Os resultados demonstraram que, em relação às quatro orientações, a variação dos valores percentuais do CV foi semelhante ao parâmetro anterior (largura da via). Além disso, indicaram altos valores do coeficiente de variação para as duas alturas de obstrução em todas as orientações, o que sugere pouca uniformidade da iluminação natural no interior do espaço. Entretanto, diferente do parâmetro anterior, ao observar o Gráfico 22 é possível apontar o cenário que apresenta melhor uniformidade da iluminação no interior do ambiente, neste caso o cenário no qual o ambiente está exposto a obstrução de 20 pavimentos. Ao aumentar a obstrução de 10 para 20 pavimentos os valores de CV diminuíram tanto no período da manhã como à tarde nas quatro orientações, atingiu-se o menor valor de 74,3% na orientação sul e o maior valor na orientação norte 138%.

Para demonstrar a forma de distribuição física da luz no ambiente a Figura 27 e

Figura 28 ilustram as isocurvas dos valores de iluminância média anual no plano de trabalho, que considerou o período da manhã das 8h as 12h e o período da tarde das 13h as 16h, para as orientações norte e sul. As isocurvas para a janela orientada a leste e oeste podem ser encontradas no apêndice B. Estas figuras consistem da visualização gráfica que complementa a análise das variações numéricas registradas anteriormente.

No geral a distribuição é semelhante ao parâmetro anterior estudado. A presença de iluminância excessiva se dá nos dois primeiros metros do ambiente para as duas situações e em todas as orientações. Há nesta área uma diminuição da iluminância ao elevar a altura da

edificação obstruidora de 10 para 20 pavimentos que faz com que os resultados apontem o cenário com obstrução de 20 pavimentos com os menores valores de EMA.

Na metade da sala próxima a janela é onde ocorre a maior variação na distribuição, já a outra metade da sala mais ao fundo há uma maior uniformidade da iluminação que varia entre 1.000 lx e 2.000 lx nas quatro orientações, ou seja, dentro da faixa útil de iluminação. Observa-se que na janela orientada a sul (Figura 28) apresenta a melhor distribuição da iluminação no plano de trabalho tanto para obstrução com 10 pavimentos quanto para a obstrução com 20 pavimentos.

Figura 27- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.

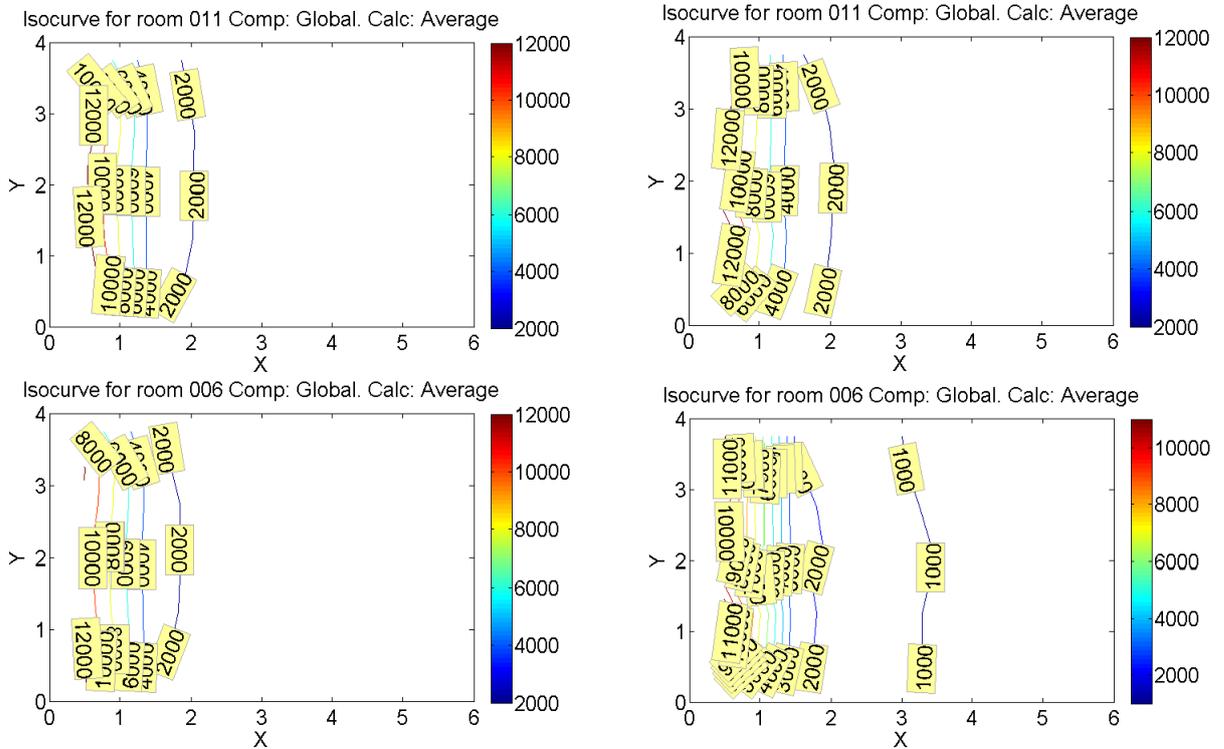
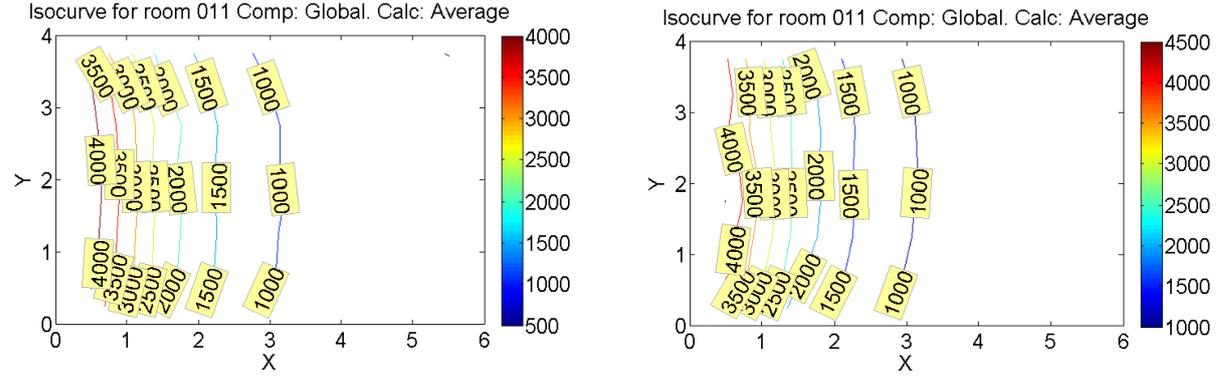
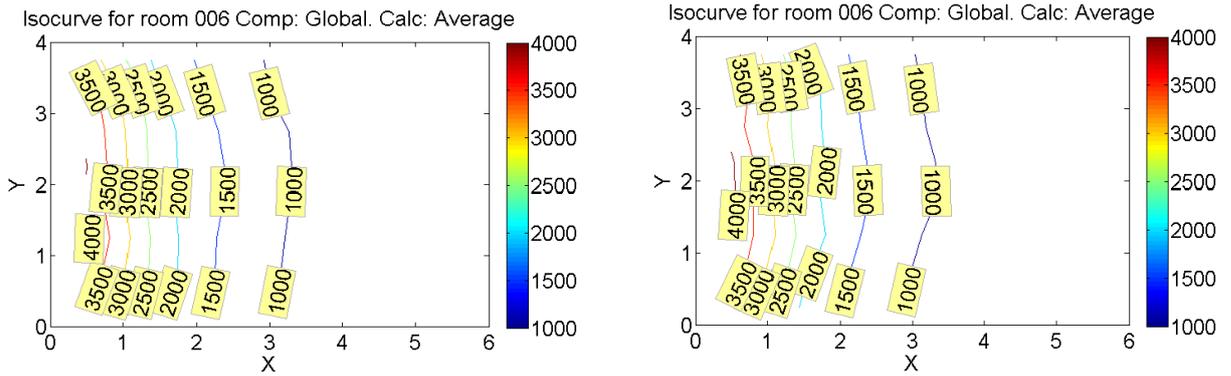


Figura 28- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.





3.3. Parâmetro – Refletância superfícies externas verticais

Neste parâmetro, o ambiente foi submetido à edificações obstruidoras com três diferentes alturas, de 10, 15 e 20 pavimentos e com superfícies externas verticais com a refletância especular igual a 0,5. Os seguintes cenários (Figura 29 (a), (b) e (c)) correspondem ao parâmetro altura da edificação obstruidora, estudado anteriormente com a refletância difusa igual a 0,5 para as superfícies externas verticais. Para este caso, os cenários variam a altura da obstrução e o afastamento frontal correspondente a cada taxa de ocupação considerada, e mantém constante a refletância das superfícies (especular), a largura da via e a largura das fachadas frontais. As quatro orientações: norte, leste, sul e oeste foram analisadas.

Figura 29- Ilustração do perfil do cenário: (a) RE - 10_10 pav.; (b) RE - 10_15 pav.; (c) RE - 10_20 pav.

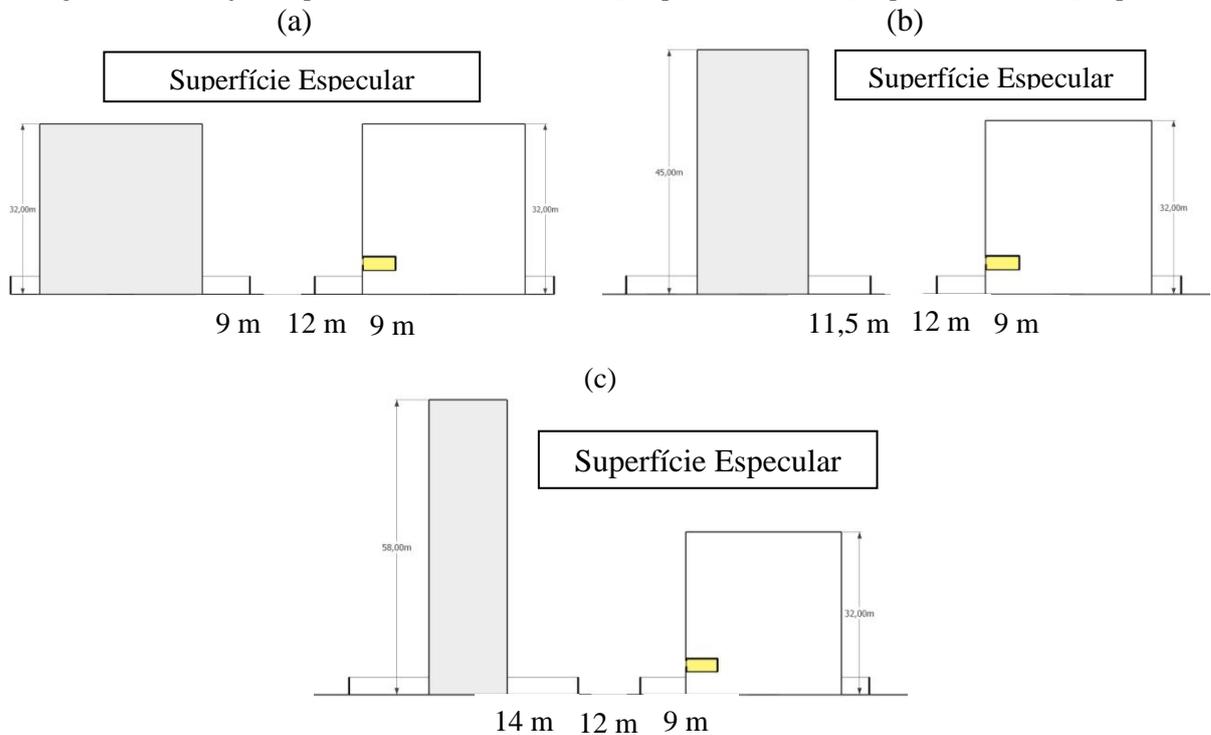
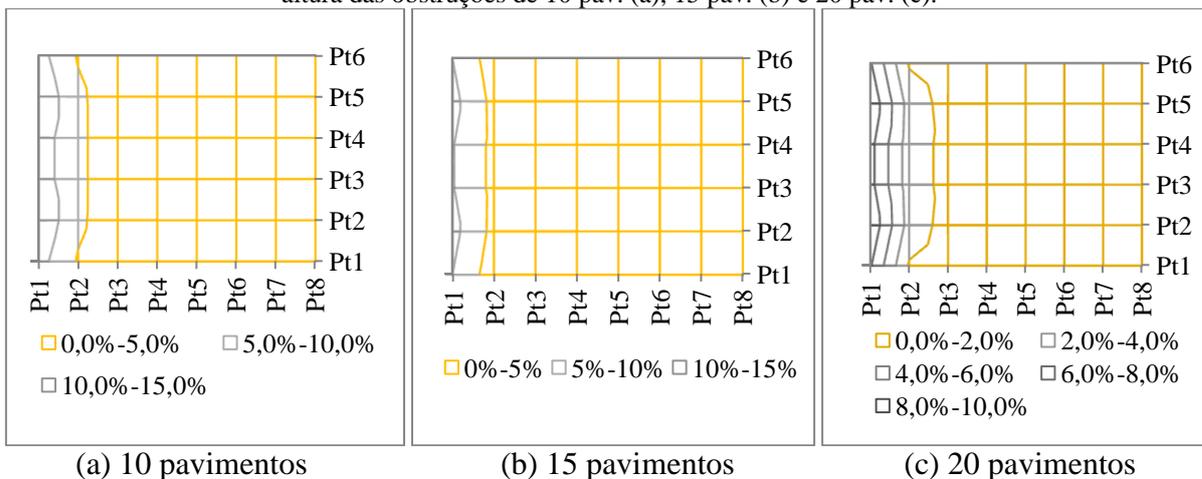
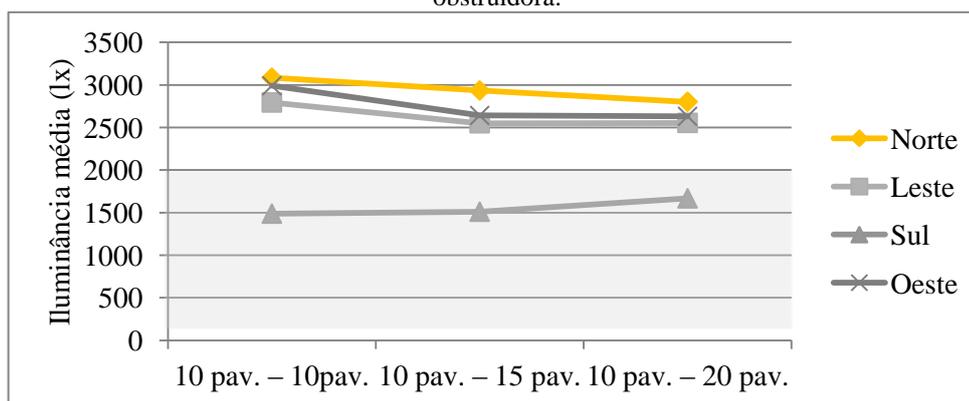


Figura 30- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com a altura das obstruções de 10 pav. (a), 15 pav. (b) e 20 pav. (c).



A partir do Gráfico 23, é possível observar que a EMA decresce à medida que aumenta a obstrução para a janela orientada a norte, leste e oeste. Verifica-se este mesmo comportamento em relação ao parâmetro altura da edificação obstruidora que utiliza a superfície difusa nas simulações dos cenários. Entretanto, o ambiente com a abertura orientada para ao sul apresenta um acréscimo de 10,7% na EMA (Gráfico 24) com o aumento da altura da obstrução de 10 para 20 pavimentos, diferente dos cenários com a superfície difusa (Gráfico 15), no qual EMA não sofre variação significativa. Em ambas as situações a EMA se mantém dentro da faixa útil.

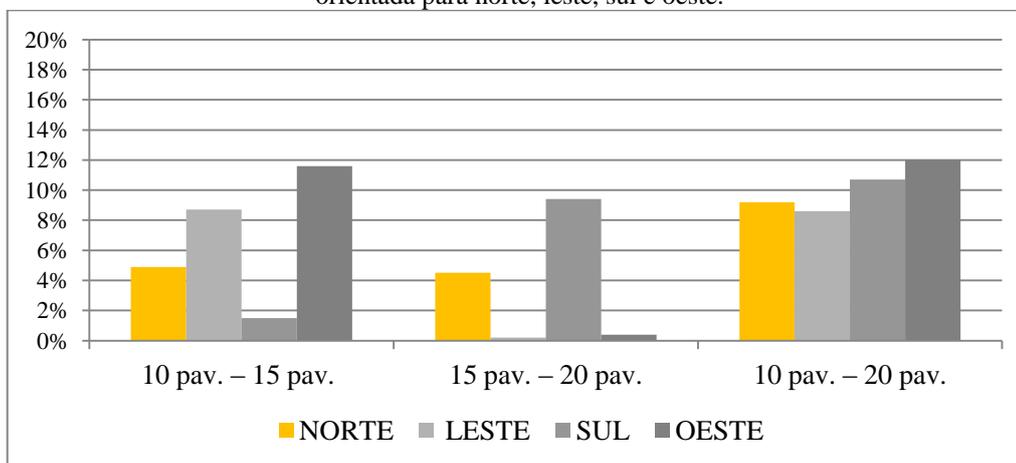
Gráfico 23- Iluminância média anual (EMA) no interior do ambiente em função da altura da edificação obstruidora.



A alteração da refletância difusa para a refletância especular resultou numa menor variação entre EMA de cada cenário, como pode ser observado no Gráfico 15 e Gráfico 24, exceto para a janela orienta ao sul, que houve aumento na variação. A redução na variação da

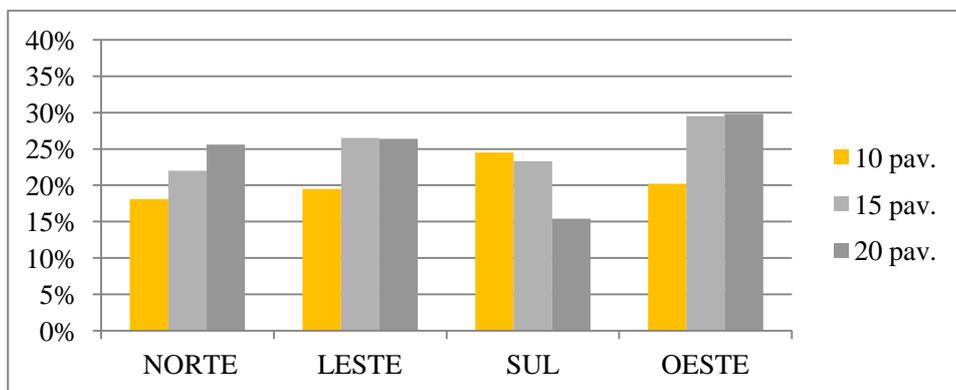
EMA entre os cenários é positiva, pois indica que o ambiente alcançou valores de EMA mais próximos, embora expostos a diferentes alturas de obstrução.

Gráfico 24- Variação da iluminância média anual (%) com o aumento da edificação obstruidora, para janela orientada para norte, leste, sul e oeste.



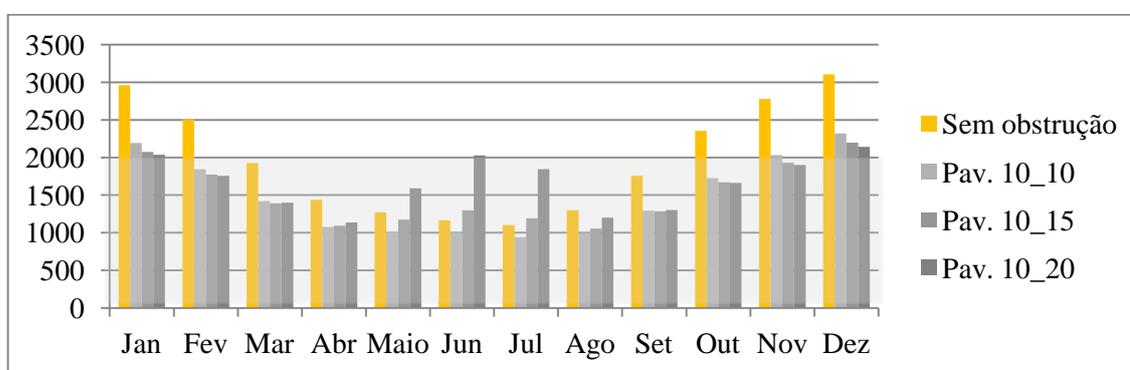
A partir da comparação entre o cenário sem obstrução com os três tipos de obstrução com superfície especular, todos os cenários com a janela orientada para norte, leste e oeste apresentaram valores percentuais de redução na EMA mais baixos que o estudo realizado com a superfície difusa (Gráfico 25 e Gráfico 16), portanto o ambiente exposto à obstrução com superfície vertical especular atingiu valores mais elevados de EMA nestas orientações. Principalmente na janela orientada a leste e oeste que atinge até 13,2% e 11,5%, respectivamente, de acréscimo da EMA quando substitui a superfície difusa pela especular, isto se deve provavelmente pela maior contribuição da luz refletida no entorno nos horários em que não há incidência de luz solar direta.

Gráfico 25- Redução da iluminância média anual entre Cenário sem obstrução e o Cenário com obstrução.



Na abertura orientada ao sul, o comportamento da EMM no interior do ambiente é diferenciado devido à significativa participação da luz refletida no entorno na iluminação natural interna. Isso ocorre provavelmente devido à iluminação no interior do ambiente, em se tratar da orientação sul, ter como fonte a luz do céu na maior parte do ano e a luz refletida pelo entorno. Ao comparar os meses de maio, junho e julho do Gráfico 18 (superfície difusa), e do Gráfico 26 (superfície especular) observa-se que a edificação obstruidora com 20 pavimentos, por apresentar uma área maior de superfície especular, mais reflete luz natural para o interior do ambiente, de modo a contribuir para elevação da iluminância média mensal.

Gráfico 26- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.



Os demais gráficos de EMM das orientações norte, leste e oeste apresentam variação anual semelhante ao observado no parâmetro que utiliza a superfície difusa, entretanto, os valores EMM são mais elevados (apêndice C).

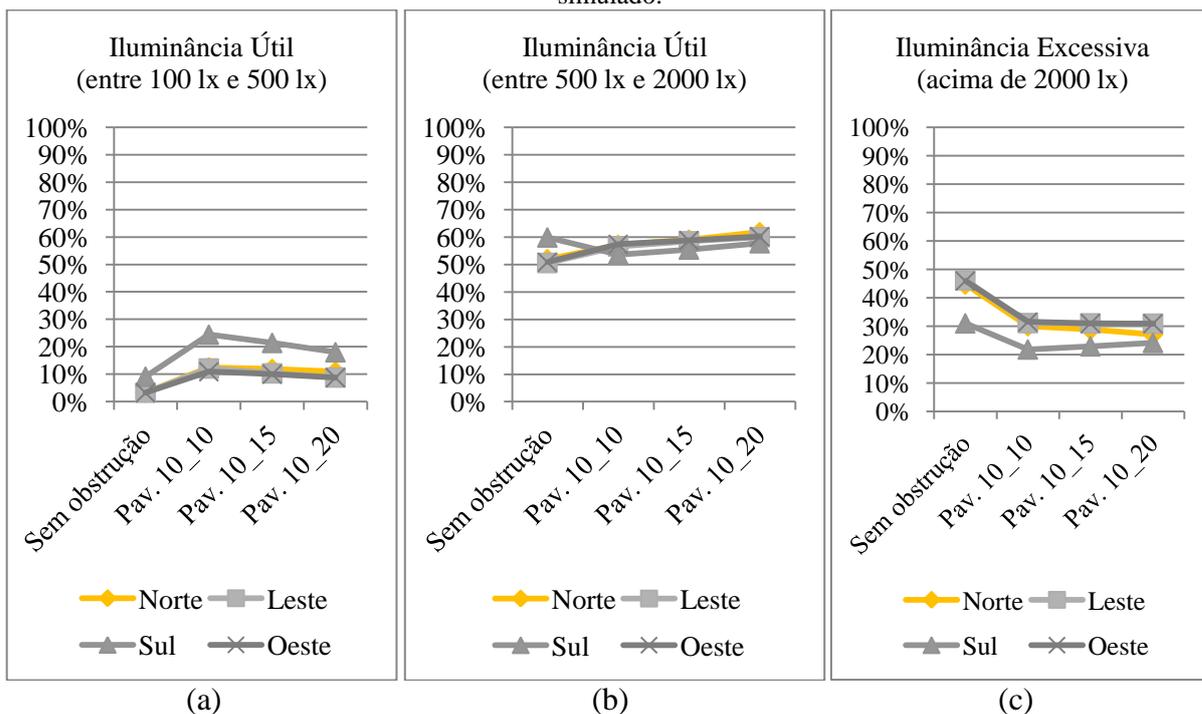
Diante dos resultados expostos, pode-se afirmar que as edificações obstruidoras com superfícies espelhadas contribuem para elevação do nível de iluminação no interior do ambiente, principalmente para a janela orientada para o sul exposta à obstrução com 20 pavimentos, na qual incidem os menores valores de EMA. Entretanto, a provável ocorrência de ofuscamento é prejudicial para o conforto visual do usuário.

Classificação através da IULN

Por meio do Gráfico 27, verifica-se que no intervalo de 100 a 500 lx, caracterizado pela necessidade de integração com a luz artificial, o ambiente submetido à obstrução de 10 pavimentos possui os maiores percentuais, principalmente na orientação sul, com 24,4% (Gráfico 27 (a)). A situação na qual a janela está orientada ao sul se mostrou mais favorável para o aproveitamento da luz natural no interior do ambiente dentro do intervalo de iluminância útil, tanto submetida a obstruções com superfícies verticais difusas, quanto a

especulares. O ambiente submetido à obstrução de 20 pavimentos apresentou a iluminância na maior parte das horas dentro do intervalo útil de 500 lx a 2.000 lx, que não necessita de complementação da luz artificial (Gráfico 27 (b)) e alcançou o máximo de 62 % na orientação norte.

Gráfico 27- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.



O ambiente submetido aos três tipos de obstrução apresentou a iluminância na maior parte das horas dentro do intervalo útil de 100 lx a 2.000 lx e alcançou o maior valor de 78% na orientação sul para o cenário com 10 pavimentos e 72,7% com a janela orientada a norte, exposta a obstrução de 20 pavimentos. Entretanto, com o aumento dos valores de iluminância média anual através da luz refletida pela superfície especular, os valores percentuais dentro da faixa de luz excessiva, acima de 2.000 lx, também aumentaram e atingiram os maiores valores para o ambiente orientado a norte, leste e oeste exposto a obstrução de 10 pavimentos (Gráfico 27 (c)). Deste modo, a obstrução com superfícies difusas, para este caso, apresentou-se mais favorável, por manter a maior parte do tempo iluminação natural no ambiente interno na faixa de iluminância útil nas orientações norte, leste e oeste.

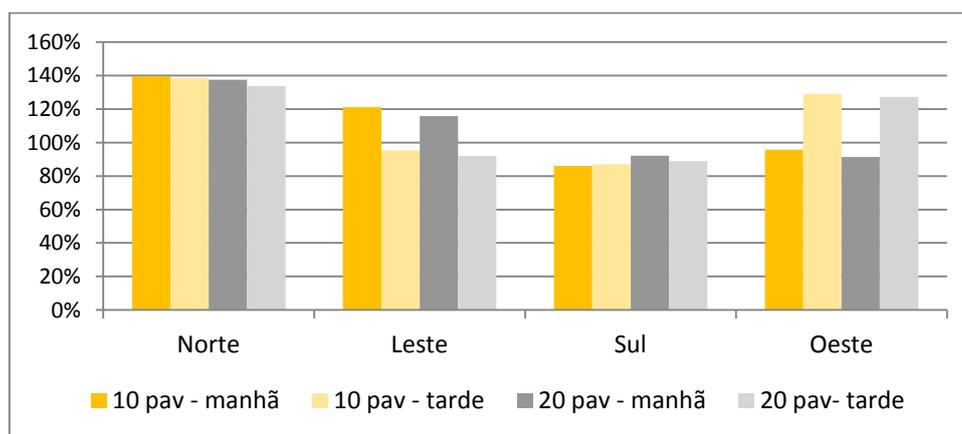
Uniformidade da iluminação

As análises a seguir referem-se ao efeito da refletância especular na uniformidade da luz natural. Considerou-se a menor e maior altura da edificação obstruidora, de 10 e 20

pavimentos, respectivamente. O Gráfico 28 apresenta os resultados obtidos para o efeito da refletância especular no coeficiente de variação (CV) das iluminâncias obtidas durante todo ano no período da manhã de 8h as 12h e no período da tarde das 13h as 16h.

Observa-se no Gráfico 22 e no Gráfico 28, que ao substituir a superfície difusa pela especular os resultados permanecem semelhantes, continuando a apresentar a melhor distribuição o ambiente exposto a 20 pavimentos, exceto na orientação sul. Na orientação sul ambos os cenários com 10 e 20 pavimentos apresentaram valores maiores de CV quando comparado com a superfície difusa, principalmente o cenário com 20 pavimentos que atingiu os maiores valores no período da manhã com 92,2% e à tarde com 88,8%. É provável que isto aconteça por o edifício com 20 pavimentos apresentar maior área de fachada o que propicia maior quantidade de luz refletida para o interior do ambiente, principalmente na área próxima a janela.

Gráfico 28- Influência da refletância especular no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as obstruções de 10 e 20 pavimentos.



Para complementar a análise das variações numéricas registradas anteriormente, nas Figura 31 e Figura 32 são ilustradas as isocurvas dos valores de iluminância média anual no plano de trabalho, no período da manhã das 8h às 12h e o período da tarde das 13h às 16h, para as orientações norte e sul. As isocurvas para a janela orientada a leste e oeste podem ser encontradas no apêndice B. Ao comparar com o parâmetro anterior a distribuição da iluminação é semelhante nas quatro orientações. A presença de iluminância excessiva se dá nos dois primeiros metros do ambiente para as duas situações. Existe nesta área uma elevação da iluminância ao substituir a superfície difusa pela especular, isso indica que a luz refletida que eleva os valores EMA incide na área próxima a janela.

Na metade da sala próxima a janela é onde ocorre a maior variação na distribuição, já a outra metade da sala mais ao fundo há uma maior uniformidade da iluminação que varia entre 500 lx e 2.000 lx nas quatro orientações, ou seja, dentro da faixa útil de iluminação. A janela orientada a sul (Figura 32) apresenta a melhor distribuição da iluminação no plano de trabalho tanto para obstrução com 10 pavimentos quanto para a obstrução com 20 pavimentos.

Figura 31- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.

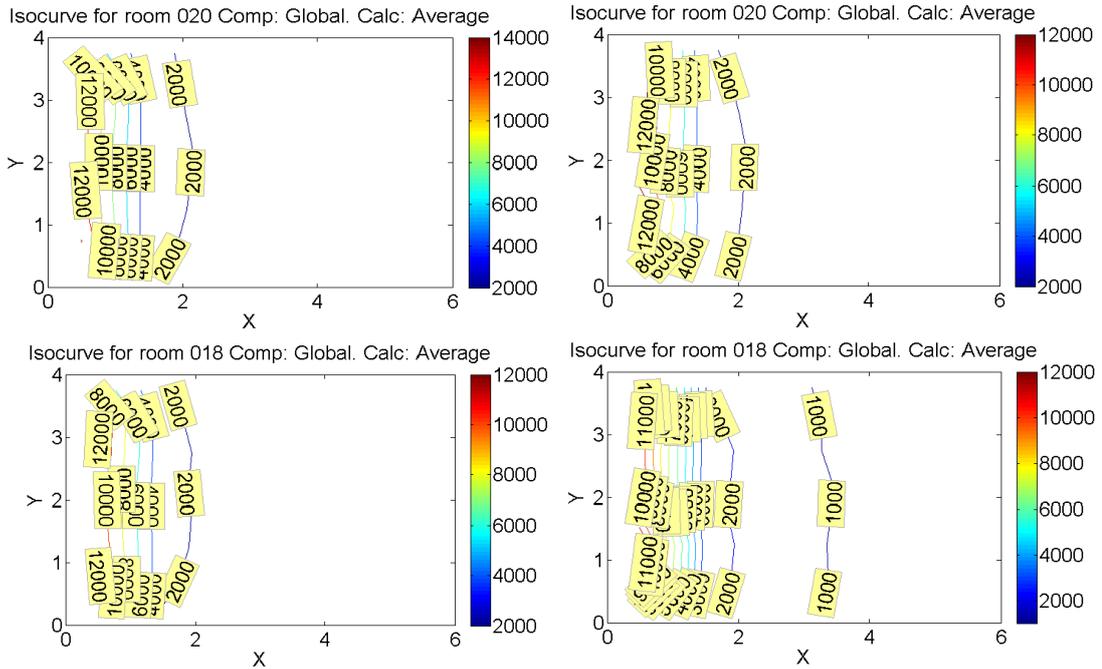
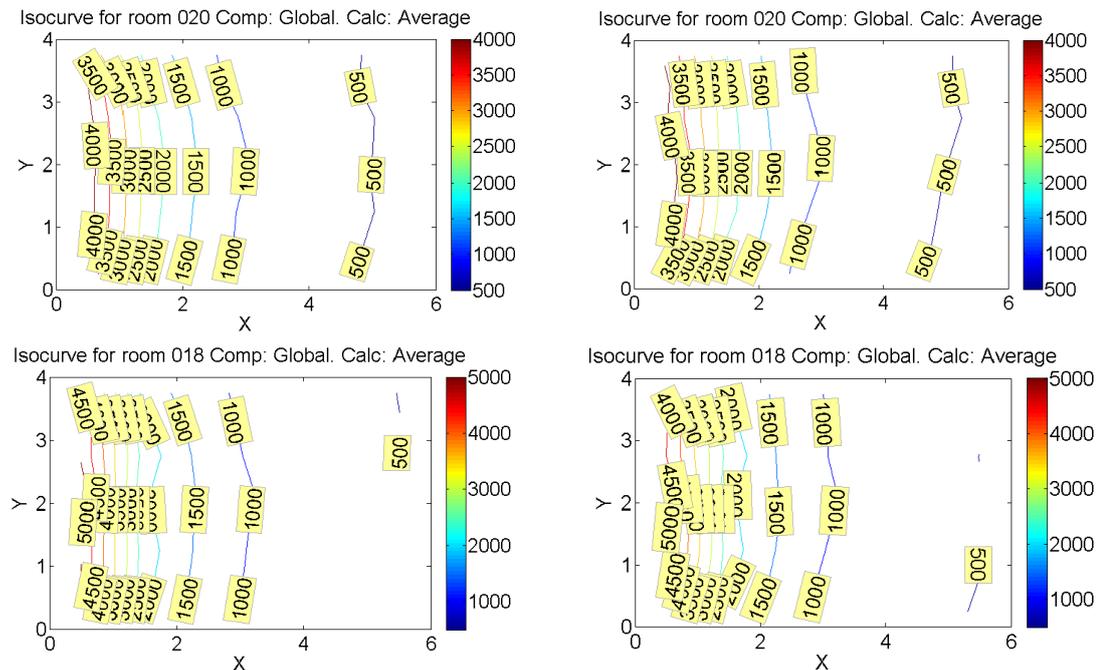


Figura 32- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.



3.4. Parâmetro – Afastamento Frontal

De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió, foram consideradas três possíveis formas de adensamento, a primeira, se a área fosse ocupada por edifícios com 10 pavimentos, a segunda, por edifícios com 15 pavimentos e por fim, 20 pavimentos. Desta forma, considera-se o menor e o maior afastamento frontal (AF) possível entre as edificações, ao fixar a via com a menor dimensão, de 12 m de largura.

As Figura 33 (a), (b) e (c) ilustram os três cenários de adensamento simulados. Diferente da situação anterior, este parâmetro considera a variação do afastamento frontal da tanto edificação obstruidora, quanto da edificação em que se localiza o ambiente em estudo, mantendo-se constantes os demais parâmetros: largura da via e refletância das superfícies, como também a largura das fachadas frontais. Neste caso, também foram analisadas as quatro orientações: norte, leste, sul e oeste. Assim, em princípio, quanto maior a altura das edificações, menor a porcentagem de céu visível (Figura 34 (a), (b) e (c)), o que aumenta a possibilidade de diminuir a quantidade de iluminação no interior do ambiente.

Figura 33- Ilustração do perfil do cenário: (a) AF- 10_10 pav.; (b) AF- 15_15 pav.; (c) AF- 20_20 pav.

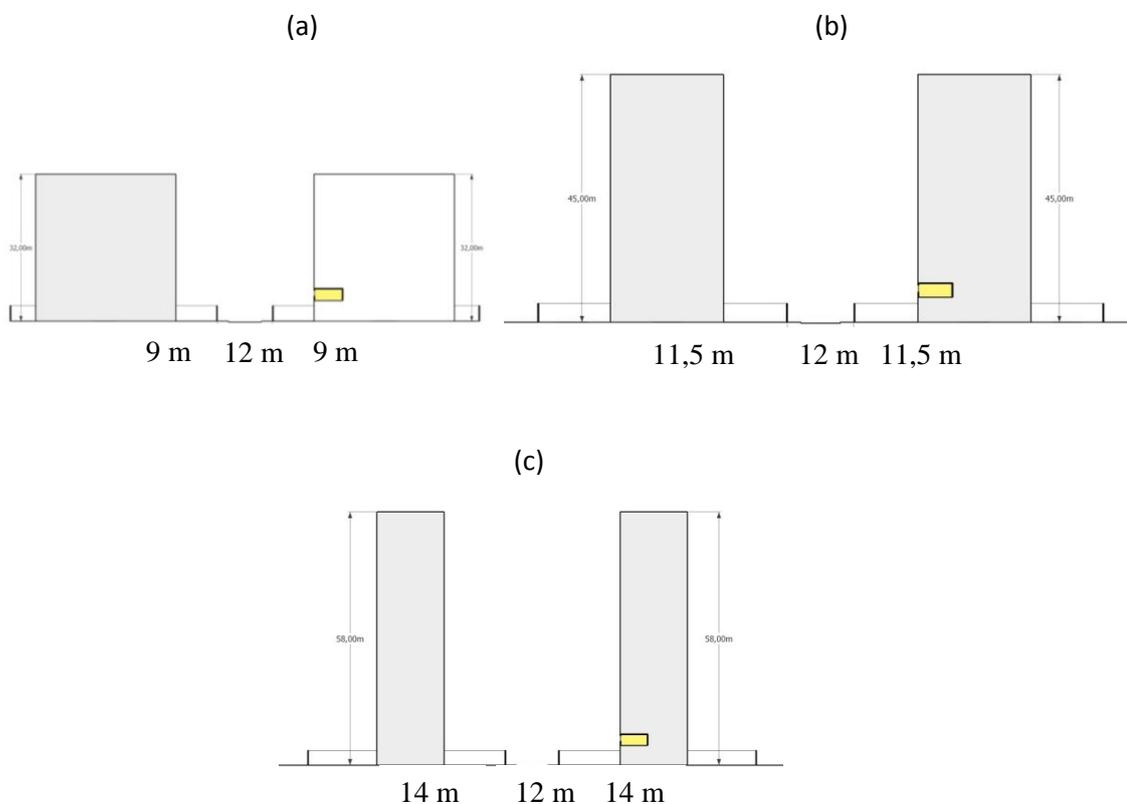
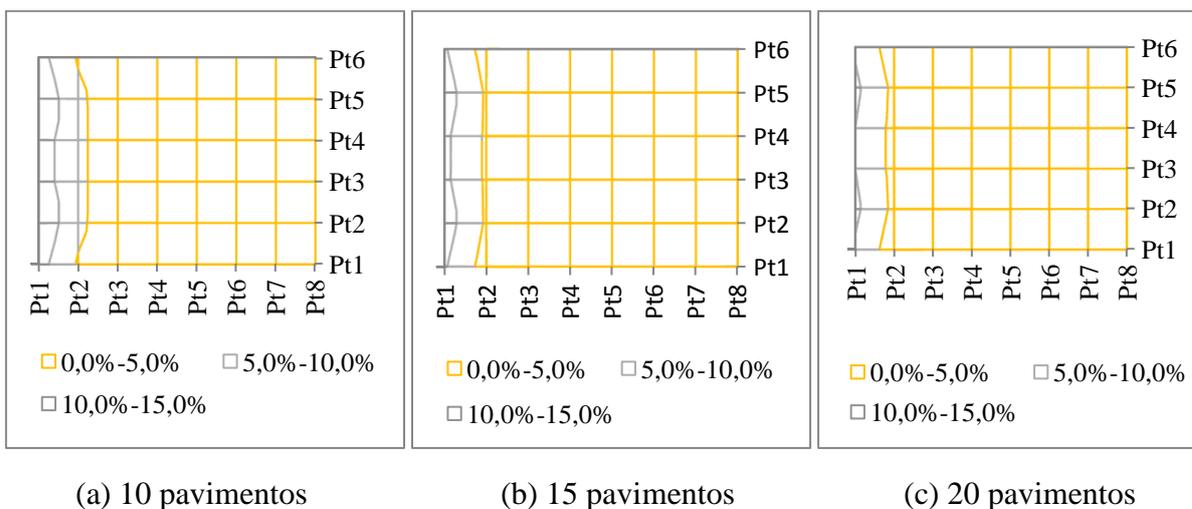
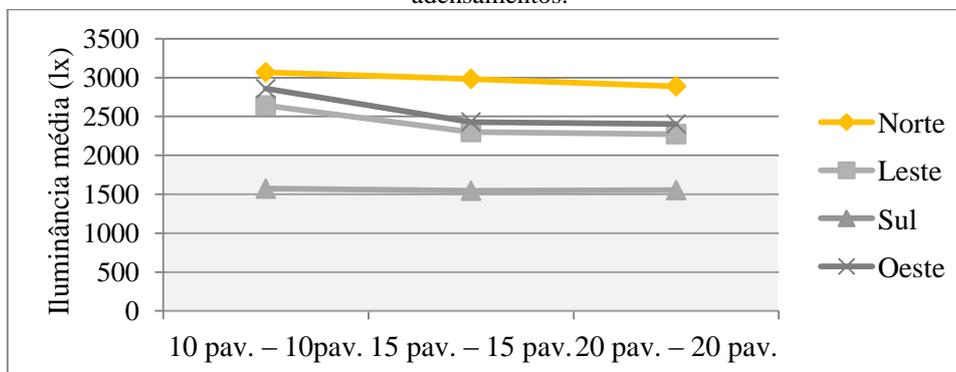


Figura 34- Porcentagem de céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com edificações de 10 pav. (a), 15 pav. (b) e 20 pav. (c).



Ao contrário do que acontece quando se alarga o tamanho da via, ao aumentar altura das edificações e acrescentar o AF correspondente para cada taxa de ocupação, o nível de iluminação natural no interior do ambiente é reduzido, exceto para a orientação sul, onde a variação de EMA entre os cenários não é significativa, conforme observado no Gráfico 29. Mesmo com a adição do afastamento entre as edificações, a variação tanto da porcentagem de céu visível quanto do nível de iluminação de cada cenário nas diferentes orientações é semelhante aos resultados obtidos para o parâmetro altura da obstrução e resultou apenas numa pequena elevação da EMA para a situação de adensamento de 15 e de 20 pavimentos (Gráfico 14 e Gráfico 29).

Gráfico 29- Iluminância média anual no interior do ambiente em função do afastamento frontal dos três tipos de adensamentos.

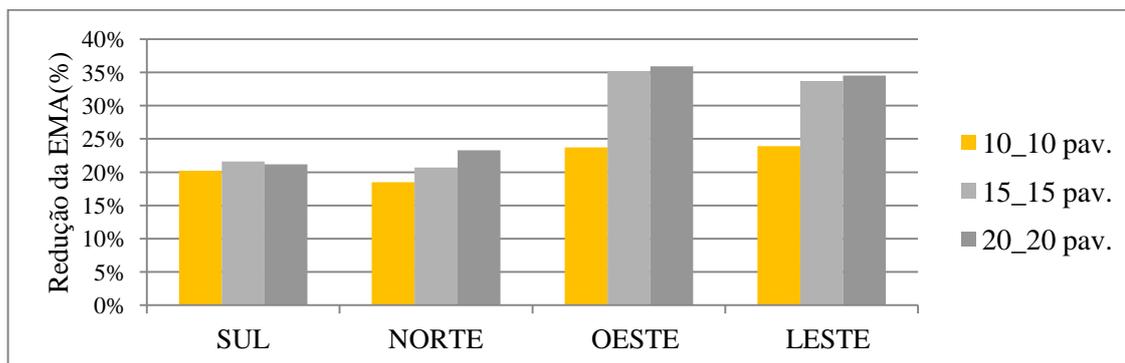


Quando comparado o cenário sem obstrução com os três tipos de adensamento nas quatro orientações (Gráfico 30), encontra-se a menor redução do nível de iluminação natural

no interior do ambiente na área ocupada por prédios de 10 pavimentos, entre 18,5% e 23,9%. Ou seja, no menor afastamento frontal possível entre as edificações os valores de EMA são mais elevados. O ambiente orientado ao sul apresentou pouca diferença na porcentagem de redução da EMA para as três situações de ocupação, que variou entre 20% a 22% (Gráfico 30). A abertura orientada para norte apresentou variação regular entre as três situações de ocupação, na ocupação com prédios de 10 pavimentos, ocorreu a menor redução da EMA, 18,5%, a ocupação com 15 pavimentos reduziu 20,7% e por fim, a ocupação com 20 pavimentos diminuiu 23,3% o nível de iluminação natural no ambiente interno.

Tanto na orientação oeste como a leste (Gráfico 30), os três cenários obtiveram os maiores valores de redução da EMA. Destacaram-se por apresentar valores percentuais próximos e elevados de redução da iluminância média anual as ocupações com 15 e 20 pavimentos, entre 33% a 36%. Para a ocupação com 10 pavimentos, a diminuição do nível de luz natural foi menor, em torno de 23% na orientação oeste e leste.

Gráfico 30- Redução da iluminância média anual entre Cenário sem obstrução e o Cenário com obstrução.



Esses resultados, quando comparados com o parâmetro altura da obstrução, observa-se que ao aumentar a distância entre as edificações e manter fixa a altura da obstrução os valores de EMA disponíveis no ambiente sofrem menor interferência da obstrução para os cenários com a janela orientada para norte, leste e oeste (Gráfico 16 e Gráfico 30).

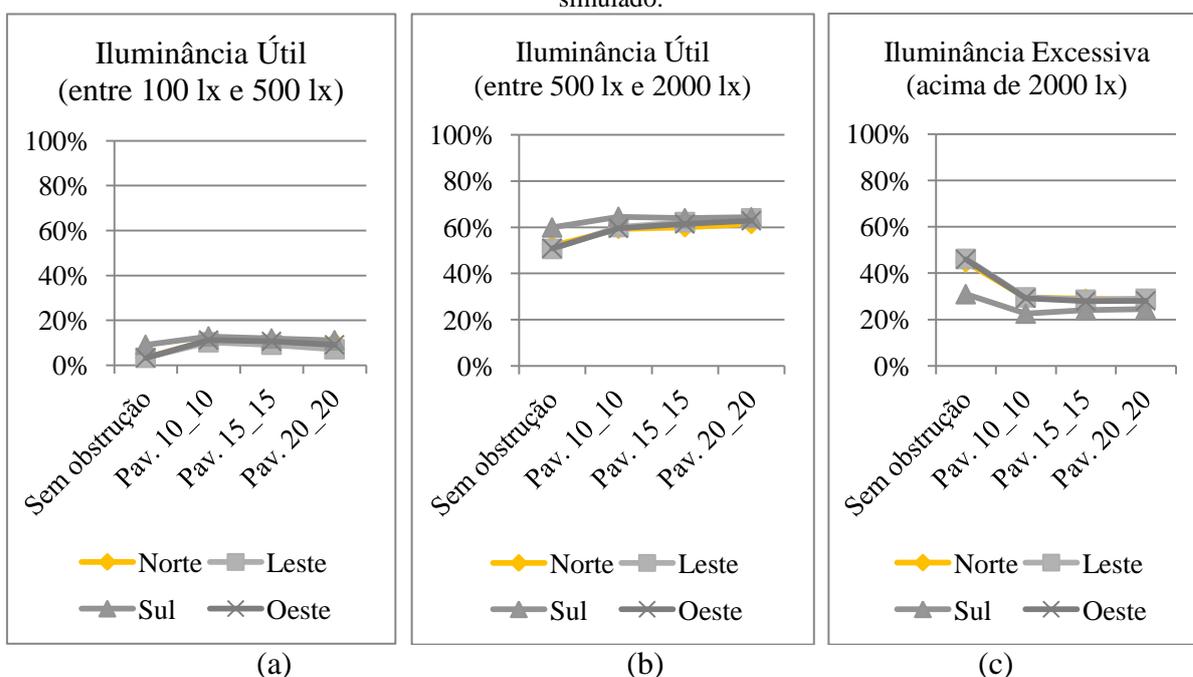
O cálculo do afastamento frontal determinado pelo Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió relacionado com a altura da edificação é uma forma de compensar o acréscimo na altura da construção (obstrução), a fim de garantir o mesmo acesso à luz natural independente do cenário adotado. Com isso, os cenários estudados deveriam apresentar porcentagem de redução de EMA próximos.

Os resultados demonstram que entre os cenários com edificações de 15 e 20 pavimentos alcançaram pouca variabilidade na redução EMA, entretanto quando comparado ao cenário com 10 pavimentos a variação aumenta, principalmente na orientação leste e oeste (Gráfico 30).

Classificação através da IULN

De acordo com o Gráfico 31 (a) e (b), as três situações de ocupação apresentaram-se propícias para o aproveitamento de iluminação natural no interior do ambiente, pois entre 70,3% e 77,3% das horas estudadas os valores de iluminância encontram-se no intervalo de 100 lx a 2.000 lx, nas as quatro orientações.

Gráfico 31- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.



A ocupação com edifícios de 10 pavimentos na área estudada apresentou as maiores porcentagens na faixa de iluminância excessiva, atingiu-se o maior valor de 29,6% na orientação leste (Gráfico 31 (c)), fato este que corresponde aos elevados valores EMA alcançados neste cenário (Gráfico 29). Entretanto, para a orientação sul o comportamento é inverso o adensamento com 10 pavimentos atingiu o menor percentual de iluminância excessiva 22,6% e a maior porcentagem no intervalo de iluminância útil 77,3%. O referido resultado pode ser justificado porque as maiores edificações de 15 e 20 pavimentos possuem

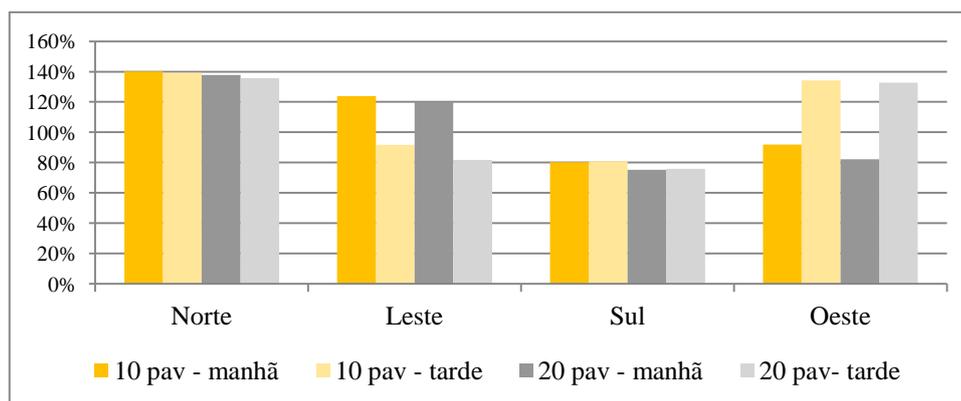
uma área maior que reflete a luz solar que incide diretamente na fachada para o interior do ambiente estudado, o que aumenta excessivamente os valores de iluminância.

Uniformidade da iluminação

A seguir apresenta-se o efeito do afastamento frontal com a ocupação mínima e máxima da área em estudo na uniformidade da luz natural, considerou-se a altura das edificações com 10 e 20 pavimentos que apresentaram os maiores e os menores valores de EMA respectivamente. O Gráfico 32 apresenta os resultados obtidos para o efeito dos dois cenários de ocupação no coeficiente de variação (CV) das iluminâncias obtidas durante todo ano no período da manhã de 8h as 12h e no período da tarde das 13h as 16h.

Os resultados demonstram comportamento dos valores de CV semelhante ao parâmetro altura da obstrução. Alcançaram-se altos valores do coeficiente de variação para as duas alturas de obstrução em todas as orientações, o que sugere pouca uniformidade da iluminação natural no interior do espaço. Observa-se no Gráfico 32 o cenário no qual considera a ocupação da área por edificações com 20 pavimentos apresenta melhor uniformidade da iluminação no interior do ambiente. Ao aumentar as edificações de 10 para 20 pavimentos os valores de CV diminuíram tanto no período da manhã como à tarde nas quatro orientações, atingiu-se o menor valor de 75,2% na orientação sul e o maior valor na orientação norte 138%.

Gráfico 32- Influência do afastamento frontal no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as ocupações de 10 e 20 pavimentos.



Para demonstrar a forma de distribuição física da luz no ambiente nas Figura 35 e Figura 36 são ilustradas as isocurvas dos valores de iluminância média anual no plano de trabalho, no período da manhã das 8h as 12h e o período da tarde das 13h as 16h, para as orientações leste e oeste. As isocurvas para a janela orientada a norte e sul podem ser encontradas no apêndice B. Ao comparar com o parâmetro altura da obstrução nota-se que a

distribuição da iluminação no espaço é semelhante. A presença de iluminância excessiva se dá nos dois primeiros metros do ambiente para as duas situações e em todas as orientações. Há nesta área uma diminuição significativa da iluminância ao elevar a altura das edificações de 10 para 20 pavimentos na janela orientada a leste no período da manhã e na orientação oeste no período da tarde.

Figura 35- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a leste.

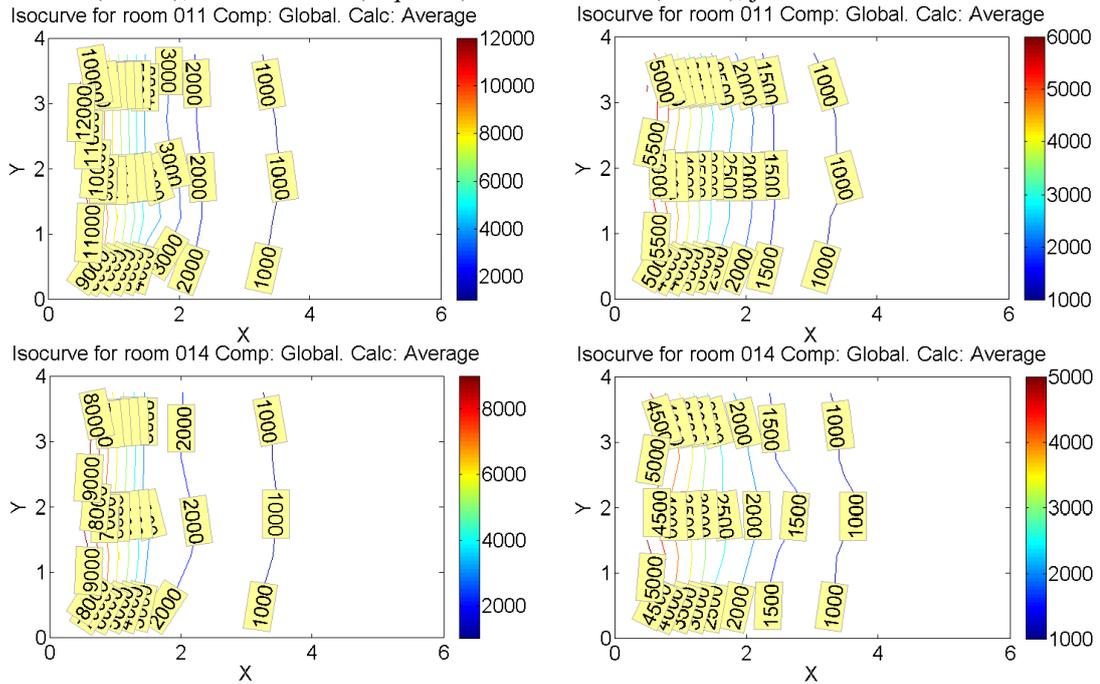
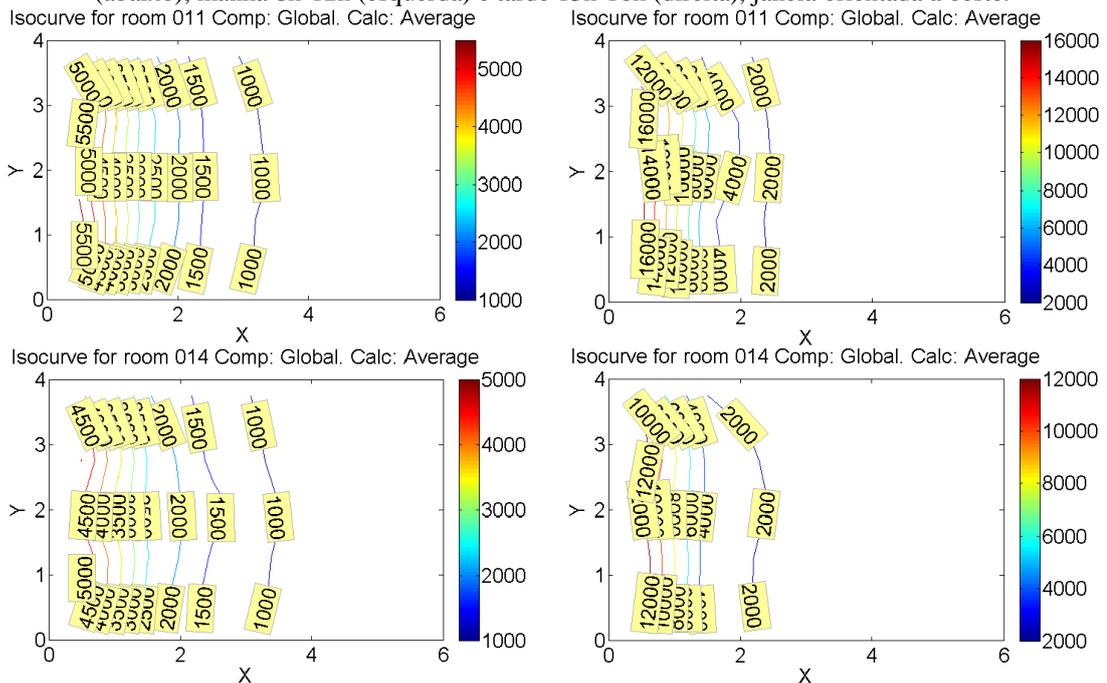


Figura 36- Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a oeste.



3.5. Parâmetro – Afastamento Lateral

De acordo com o que foi proposto para o parâmetro afastamento frontal, para o presente parâmetro também foram consideradas três possíveis formas de adensamento, estabelecidos pelo Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió, a área ocupada por edifícios com 10, 15 e 20 pavimentos, deste modo considera o menor e o maior afastamento lateral (AL) possível entre as edificações.

As Figura 37 (a), (b) e (c) ilustram os três cenários de afastamento lateral (AL) simulados. Diferente da situação anterior, este parâmetro não considera a largura da via e mantém constantes os demais parâmetros: refletância das superfícies, como também a largura das fachadas laterais. Neste caso, também foram analisadas as quatro orientações: norte, leste, sul e oeste.

Em princípio, quanto maior a altura das edificações, menor a porcentagem de céu visível, o que aumenta a possibilidade de diminuir a quantidade de iluminação no interior do ambiente. Contudo, ocorreu o inverso devido ao aumento do afastamento lateral ao elevar as edificações. Isso permitiu uma maior porcentagem de céu visível mesmo com a presença da maior obstrução, de 20 pavimentos (Figura 38).

Figura 37- Ilustração do perfil do cenário: (a) AL - 10_10 pav.; (b) AL- 15_15 pav.; (c) AL - 20_20 pav

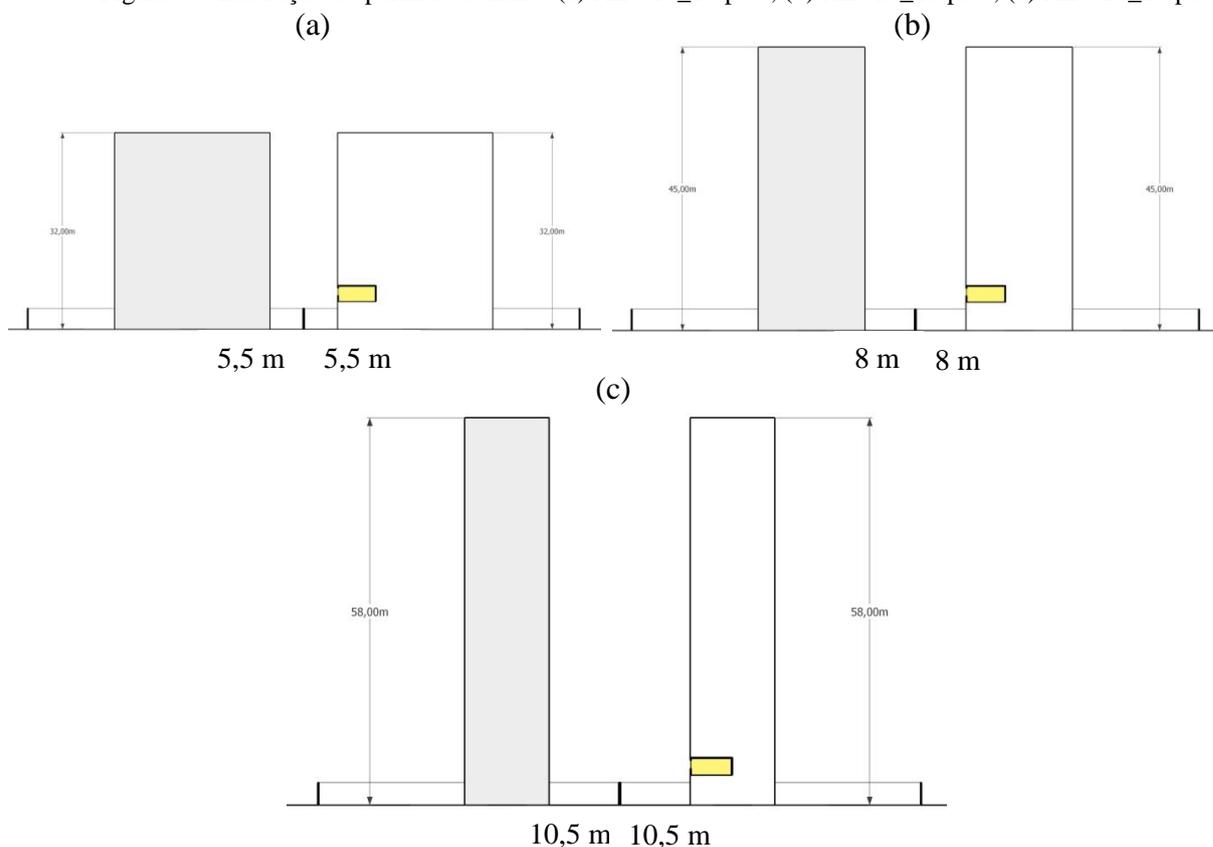
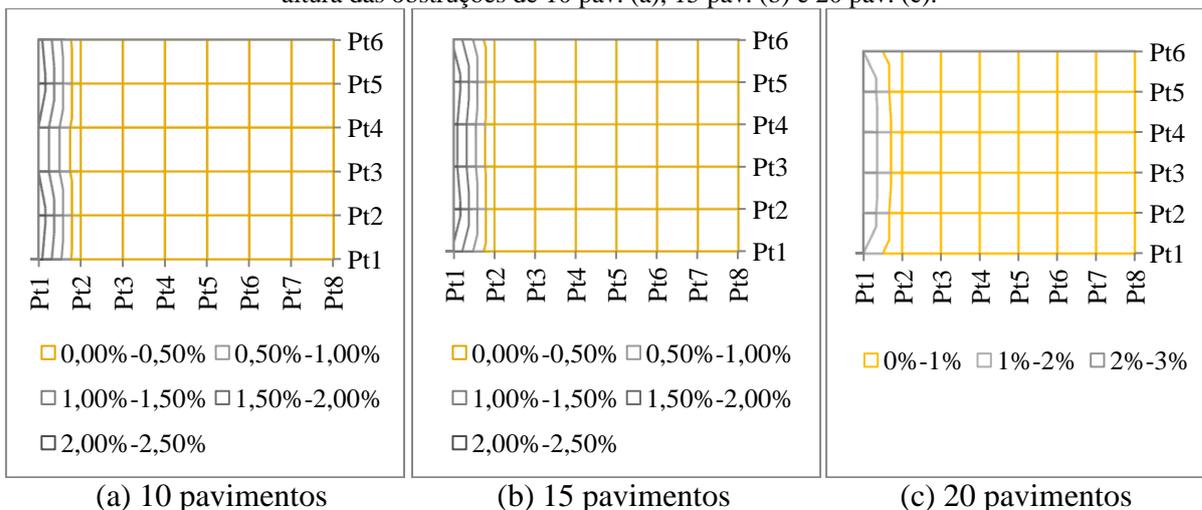
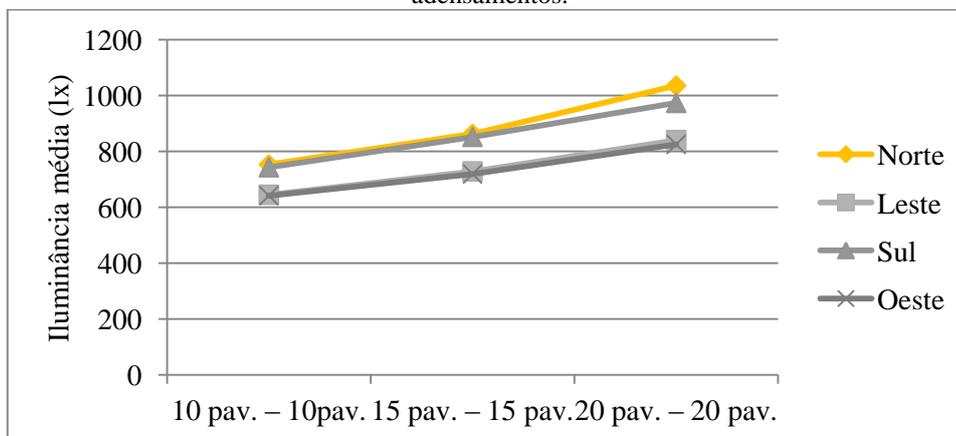


Figura 38- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com a altura das obstruções de 10 pav. (a), 15 pav. (b) e 20 pav. (c).



Ao contrário do que acontece no parâmetro afastamento frontal (AF), ao aumentar a altura das edificações e acrescentar o afastamento lateral (AL) correspondente para cada taxa de ocupação, o nível de iluminação natural no interior do ambiente é crescente, para todas as orientações estudadas, conforme se observa no Gráfico 33. Devido a maior proximidade entre as edificações neste parâmetro, com menor porcentagem de céu visível, os valores de EMA são menores que os outros parâmetros estudados. O nível de iluminação natural ao longo do ano encontra-se entre 600 lx e 1100 lx, ou seja, dentro do intervalo de iluminância útil. Os maiores valores de EMA se deram para o ambiente com abertura orientada a norte e a sul (Gráfico 33).

Gráfico 33- Iluminância média anual no interior do ambiente em função do afastamento lateral dos três tipos de adensamentos.

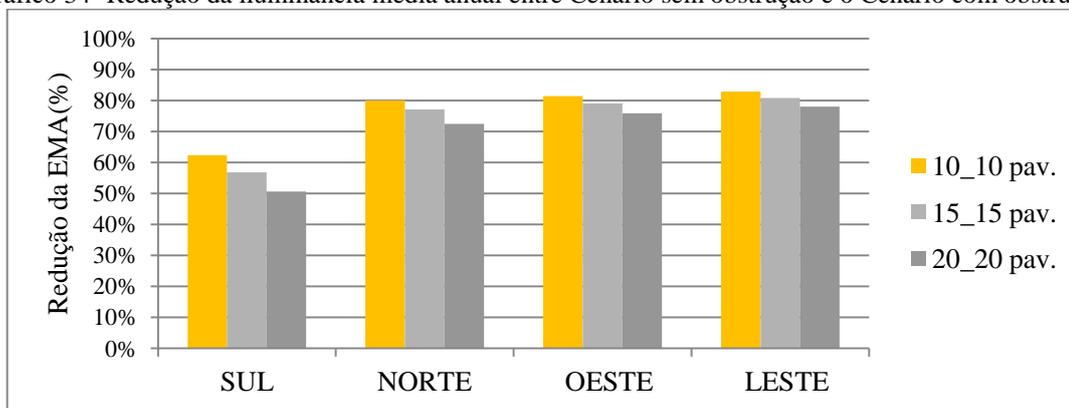


Ao comparar o cenário sem obstrução com os três tipos de adensamento, em todas as quatro orientações, a menor redução do nível de iluminação natural no interior do ambiente

foi encontrada na área ocupada por prédios de 20 pavimentos, ou seja, o maior afastamento lateral possível entre as edificações resultou em valores de EMA mais elevados Gráfico 34. Observou-se também que na ocupação com prédios de 10 pavimentos houve as maiores reduções da EMA, que atingiu o maior valor 82,9% na janela orientada a leste, ou seja, o menor afastamento lateral possível entre as edificações atingiu os valores mais baixos de EMA.

O ambiente orientado ao sul apresentou os menores valores percentuais de redução da EMA para as três situações de ocupação, entre 50% a 63% (Gráfico 34). Os cenários com a abertura orientada para norte, leste e oeste apresentaram os maiores percentuais de redução EMA entre 70% e 83%.

Gráfico 34- Redução da iluminância média anual entre Cenário sem obstrução e o Cenário com obstrução.



Este parâmetro, quando comparado com o parâmetro afastamento frontal, há a inversão dos resultados. Enquanto que no parâmetro AF os maiores valores percentuais de redução da iluminação natural ocorre no adensamento com 20 pavimentos no parâmetro AL ocorre no adensamento com 10 pavimentos. Quanto maior a redução na EMA, maior a interferência da obstrução no acesso a luz natural. Tal aspecto indica a forte influência da distância entre as edificações na disponibilidade de iluminação natural no interior do ambiente.

O cálculo do afastamento lateral determinado pelo Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió, relacionado com a altura da edificação, é uma forma de compensar o acréscimo na altura da construção (obstrução) a fim de garantir o mesmo acesso à luz natural, independente do cenário adotado. Com isso, os cenários estudados deveriam apresentar valores de redução de EMA próximos. Isto ocorre neste parâmetro, os resultados constataram que entre os três cenários a variabilidade é pequena na porcentagem de redução da EMA,

exceto na orientação sul, na qual ocorre maior variação das porcentagens de redução da EMA entre os cenários (Gráfico 34).

A redução nos níveis de iluminação natural provocada pela presença das obstruções varia ao longo dos meses, de acordo com a orientação da fachada. Os resultados obtidos para as fachadas norte, sul, leste e oeste são apresentados nos Gráfico 35 a Gráfico 38 a seguir, considerou-se o Cenário Tipo 0 sem obstrução e os três tipos de ocupação do terreno. Devido à proximidade entre as edificações, os valores de EMM apresentaram pouca variação ao longo do ano. Além disso, o nível de iluminação natural se mostrou crescente quando se eleva a altura de 10 pavimentos para a de 20 pavimentos como aponta os gráficos das quatro orientações estudadas (Gráfico 35 a Gráfico 38).

Ao comparar o parâmetro altura da obstrução com a janela orientada a norte (Gráfico 17) com o parâmetro AL para a mesma orientação (Gráfico 35), se observa que o comportamento da EMM nos meses de abril a agosto é o inverso, enquanto que no primeiro parâmetro há um excesso de EMM, no parâmetro AL, nestes meses verificam-se os menores valores de iluminação natural alcançados durante o ano. Este fato demonstra a significativa interferência da porcentagem de céu visível no acesso à luz solar.

Gráfico 35- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a norte das 8h às 16h.

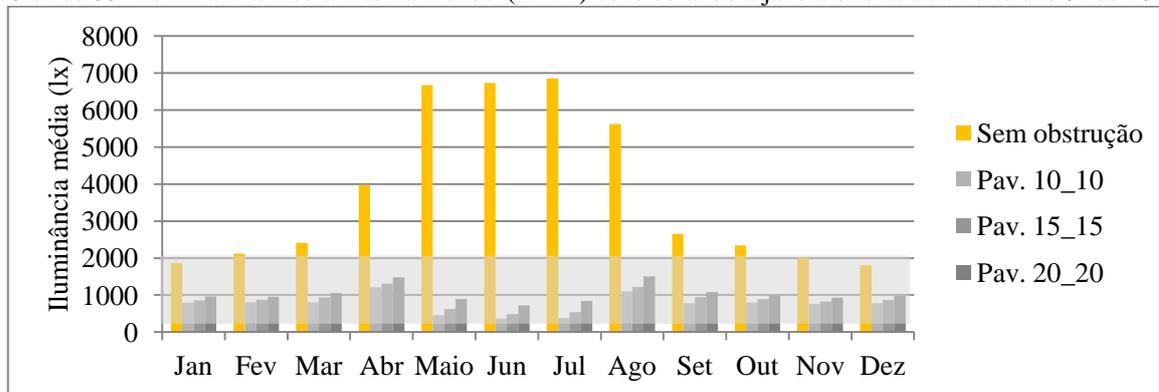


Gráfico 36- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.

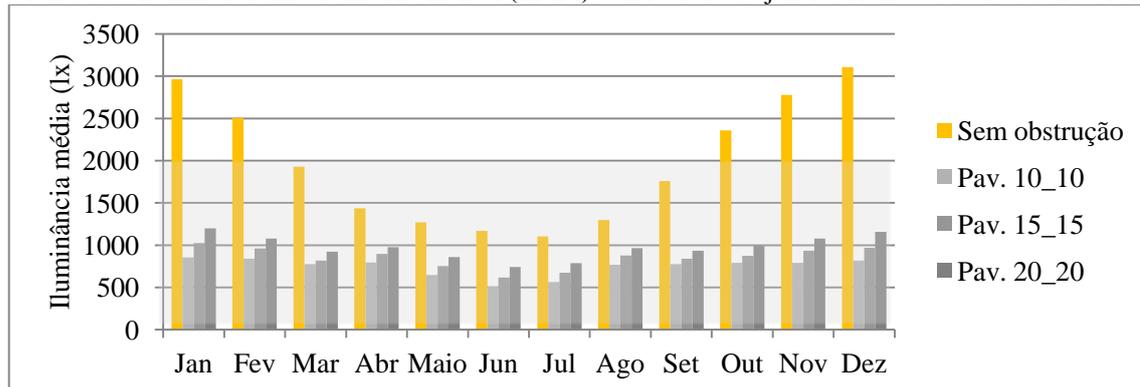


Gráfico 37- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a oeste das 8h às 16h.

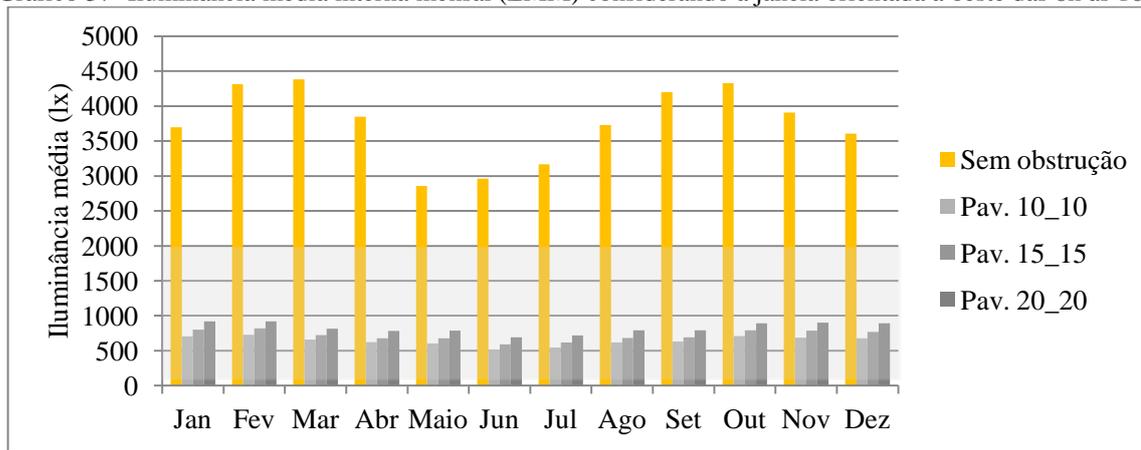
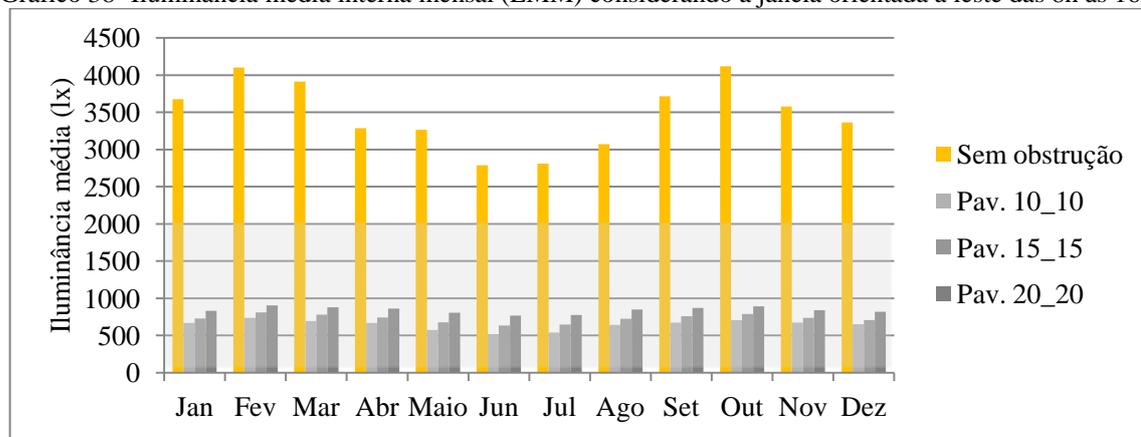


Gráfico 38- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a leste das 8h às 16h.



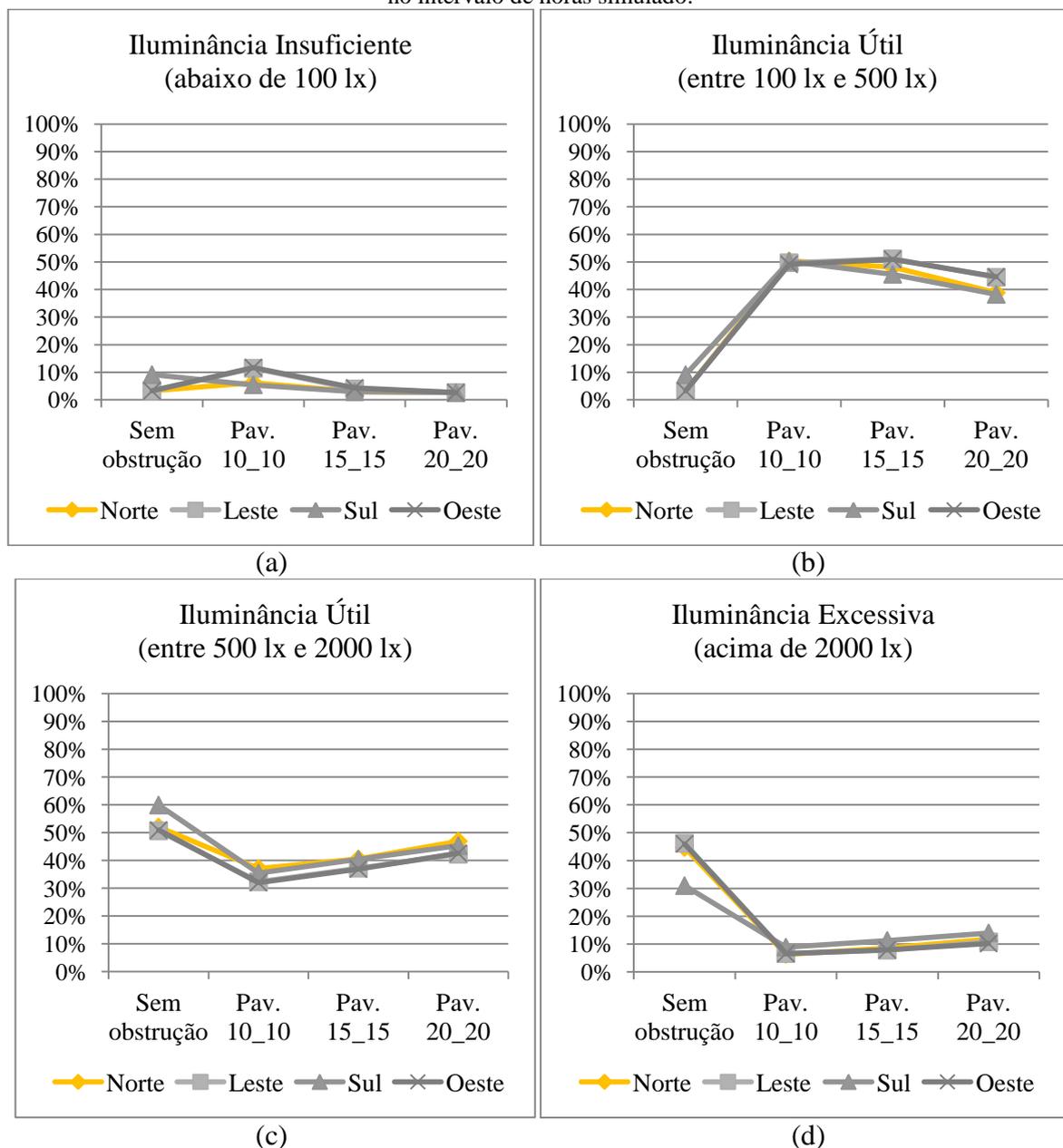
Classificação através da IULN

De acordo com o Gráfico 39 (b) e (c), as três situações de ocupação apresentaram-se propícias para o aproveitamento de iluminação natural no interior do ambiente, pois entre 81% e 89% das horas analisadas os valores de iluminância encontram-se no intervalo de 100 lx a 2.000 lx. O adensamento com edificações de 15 pavimentos apresentou os maiores valores dentro da faixa de iluminância útil de 100 lx a 2000 lx nas orientações norte, leste e oeste.

A ocupação com edifícios de 20 pavimentos na área estudada apresentou as maiores porcentagens na faixa de iluminância excessiva, a maior de 14% na orientação sul (Gráfico 39 (d)) e o menor de 2,6% na faixa abaixo de 100 lx. O comportamento é inverso para o adensamento com 10 pavimentos que atingiu os menores percentuais de iluminância excessiva, 6,3% orientação norte, e os maiores valores na faixa abaixo de 100 lx, 11,7% a oeste. Isto deve ocorrer porque as maiores edificações de 15 e 20 pavimentos possuem uma

área maior, que reflete a luz solar que incide diretamente na fachada para o interior do ambiente estudado e eleva os valores de EMA, além da maior porcentagem de céu visível.

Gráfico 39- (a) intervalo abaixo de 100 lx, (b) intervalo de 100 a 500 lx, (c) intervalo de 500 a 2.000 lx e (d) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.



Uniformidade da iluminação

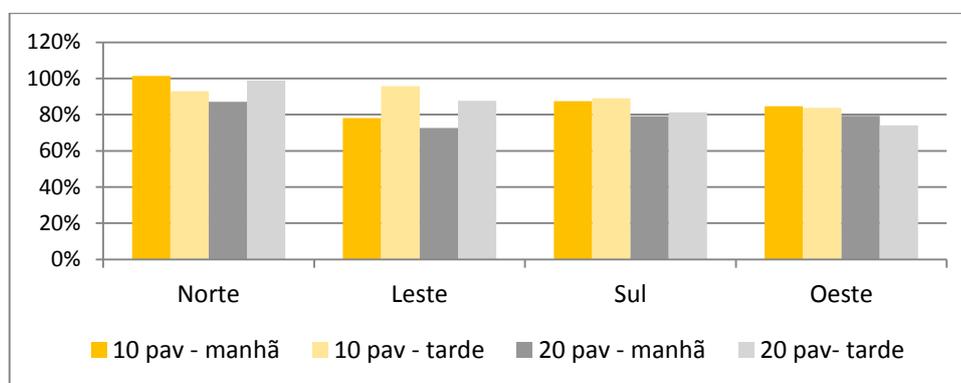
A seguir apresenta-se o efeito do afastamento lateral com a ocupação mínima e máxima da área em estudo na uniformidade da luz natural. Considerou-se a altura das edificações com 10 e 20 pavimentos, que apresentaram os menores e os maiores valores de EMA, respectivamente. O Gráfico 40 apresenta os resultados obtidos para o efeito dos dois

cenários de ocupação no coeficiente de variação (CV) das iluminâncias obtidas durante todo ano no período da manhã de 8h às 12h e no período da tarde das 13h às 16h.

Os resultados obtidos indicaram altos valores do coeficiente de variação para as duas alturas de edificações em todas as orientações, o que sugere pouca uniformidade da iluminação natural no interior do espaço. Entretanto, os cenários deste parâmetro apresentaram os menores valores de CV entre os parâmetros estudados, provavelmente por apresentar maior proximidade das edificações em consequência menor porcentagem de céu visível e menores valores de EMA, principalmente nas áreas próximas a janela. Devido a essa proximidade os valores de CV variam menos, para cada orientação, comparados aos valores dos demais parâmetros, com o maior valor a norte com 101% e o menor a leste 72,7%.

Observa-se no Gráfico 40 que o cenário que considera a ocupação da área por edificações com 20 pavimentos apresenta melhor uniformidade da iluminação no interior do ambiente. Ao aumentar as edificações de 10 para 20 pavimentos os valores de CV diminuíram tanto no período da manhã e à tarde nas quatro orientações, exceto na orientação norte no período da tarde, no qual houve um acréscimo do CV de 92,9% para 98,9%.

Gráfico 40- Influência do afastamento lateral no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para as ocupações de 10 e 20 pavimentos.



Os menores valores do coeficiente de variação, que indica uma maior uniformidade da iluminação, foram obtidos para a ocupação com 20 pavimentos na janela orientada a sul no período da manhã com CV de 79,2%, e também na orientação leste no período da manhã e a oeste no período da tarde, onde há incidência de luz solar direta, CV de 72,7% e 74,1% respectivamente.

Apesar de não haver a incidência direta de luz solar no período da tarde para janela orientada a leste e no período da manhã para janela orientada a oeste os resultados apontaram

uma menor uniformidade da iluminação nesses períodos de incidência de luz difusa, para a ocupação com edifícios de 20 pavimentos atingiu-se CV de 87,6% leste e 79,4% oeste. Isso se deve provavelmente pela contribuição da luz refletida na iluminação no interior do ambiente.

Na Figura 39 e na Figura 40 são ilustradas as isocurvas dos valores de iluminância média anual no plano de trabalho, no período da manhã das 8h as 12h e o período da tarde das 13h as 16h, para as orientações leste e oeste. As isocurvas para a janela orientada a norte e sul podem ser encontradas no apêndice B. Estas figuras consistem da visualização gráfica que complementa a análise das variações numéricas registradas anteriormente. No geral, os maiores valores de iluminância se dá nos dois primeiros metros do ambiente para as duas situações e em todas as orientações. Nesta área há a elevação da iluminância ao aumentar a altura das edificações de 10 pavimentos para 20 pavimentos, justificada pela maior porcentagem de céu visível.

Na metade da sala próxima a janela é onde ocorre a maior variação na distribuição, já a outra metade da sala mais ao fundo há uma maior uniformidade da iluminação que varia entre 200 lx e 600 lx, ou seja, dentro da faixa útil de iluminação. A janela orientada a leste no período da manhã e a oeste no período da tarde apresenta a melhor distribuição da iluminação no ambiente, o que coincide com os menores valores do coeficiente de variação (CV) encontrados.

Figura 39- Isocurvas de iluminância para os cenários com ocupações de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a leste.

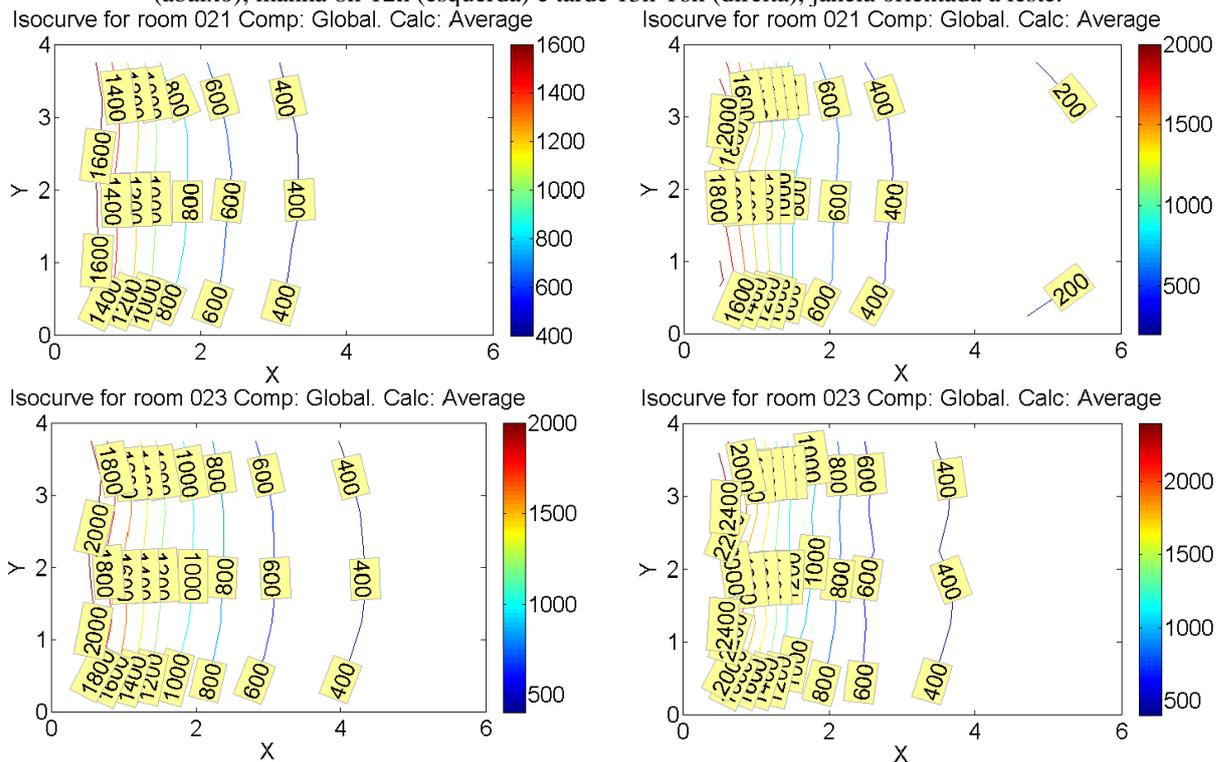
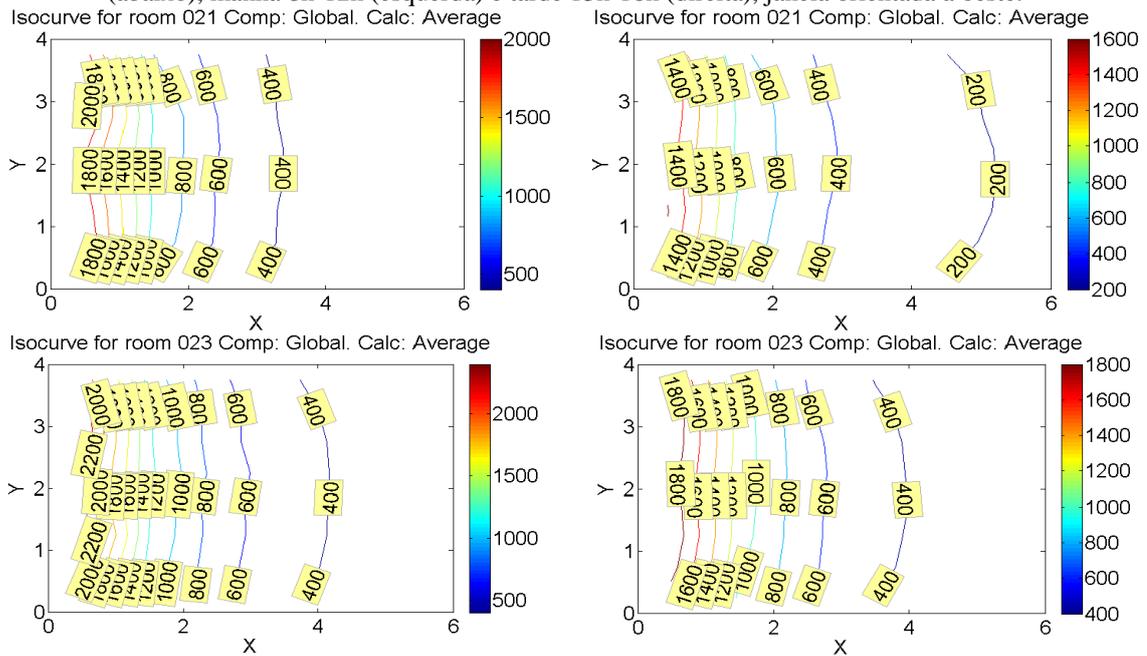


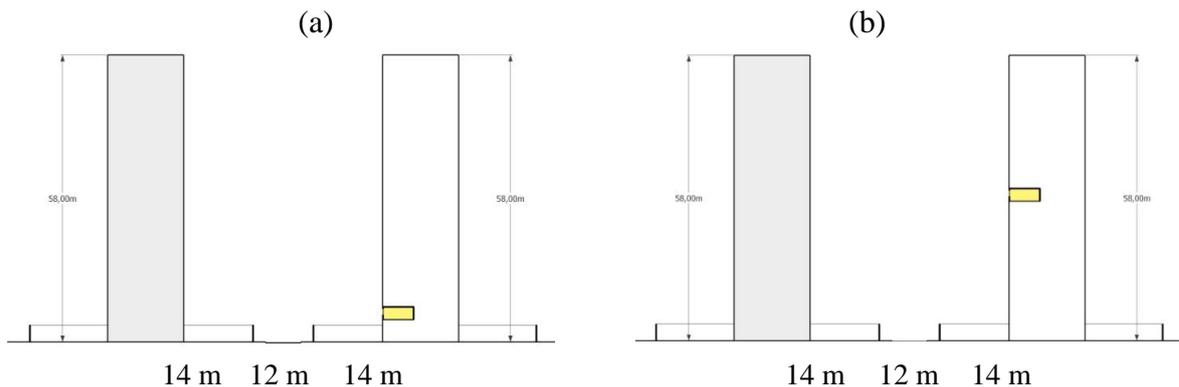
Figura 40- Isocurvas de iluminância para os cenários com ocupações de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a oeste.



3.6. Altura do ambiente

Neste item além de analisar o ambiente localizado no 1º andar foi simulado também um pavimento intermediário e o último pavimento, no 10º e 20º andar respectivamente. Para tal, foi considerada a altura da obstrução de 20 pavimentos nos três cenários, a maior altura possível para a área em estudo. Foram mantidos constantes também os demais parâmetros: afastamento frontal, largura da via e refletância das superfícies, bem como a largura das fachadas frontais. Também foram analisadas as quatro orientações: norte, leste, sul e oeste. Assim, em princípio, quanto mais alto estiver o ambiente, maior a porcentagem de céu visível, o que aumenta a possibilidade de incidir maior quantidade de iluminação no interior do ambiente (Figura 42). As três figuras abaixo ilustram os cenários analisados comparativamente (Figura 41 (a), (b) e (c)).

Figura 41- Ilustração do perfil do cenário: (a) HA.1º- 20_20 pav.; (b) HA.10º- 20_20 pav.; (c) HA. 20º- 20_20 pav.



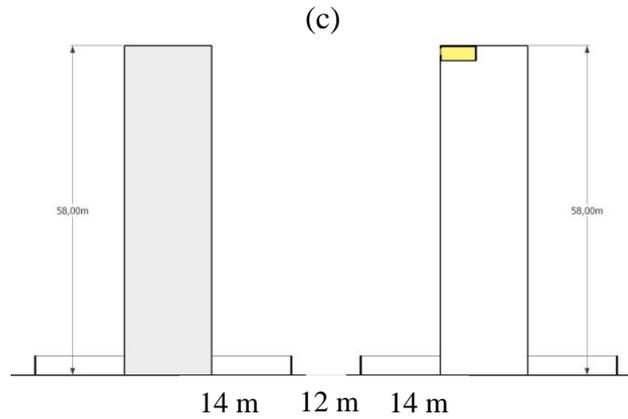
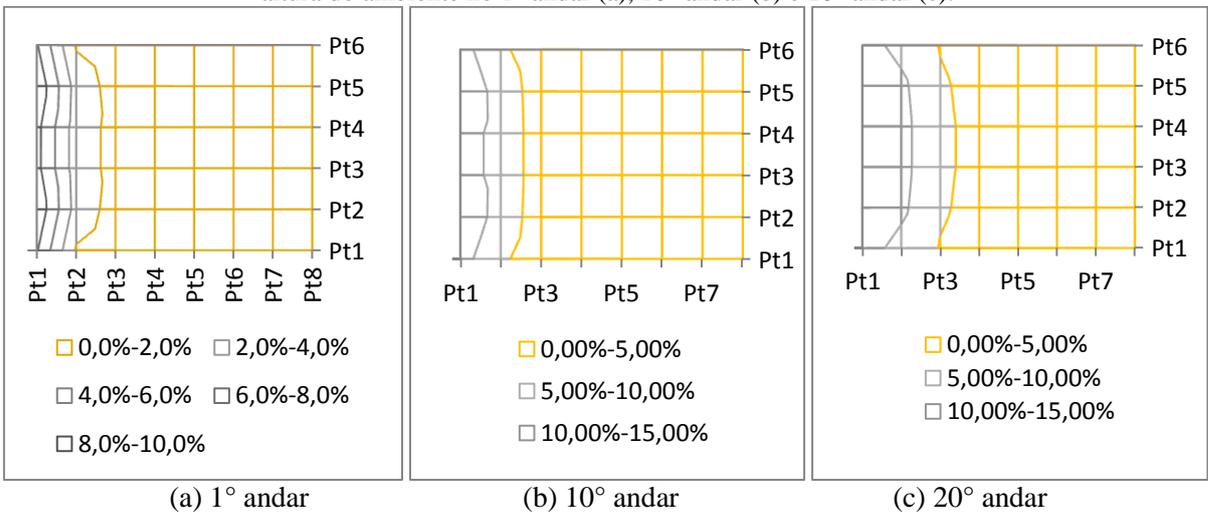
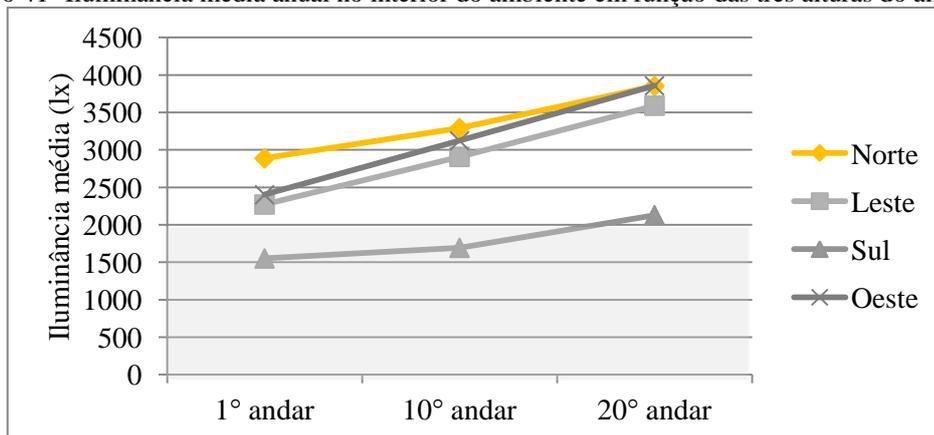


Figura 42- Porcentagem do céu visível de cada um dos 48 pontos simulados no ambiente para os cenários com a altura do ambiente no 1º andar (a), 10º andar (b) e 20º andar (c).



Conforme esperado, observou-se o aumento da iluminância média anual, em todas as orientações, à medida que a altura do ambiente simulado se eleva, do 1º pavimento para o 20º pavimento (Gráfico 41). Na orientação sul, o ambiente localizado no 1º e 10º andar apresentam EMA dentro do intervalo útil, mas quando considera o espaço localizado no 20º andar, eleva-se o nível de iluminação no interior, que ultrapassa 2.000 lx.

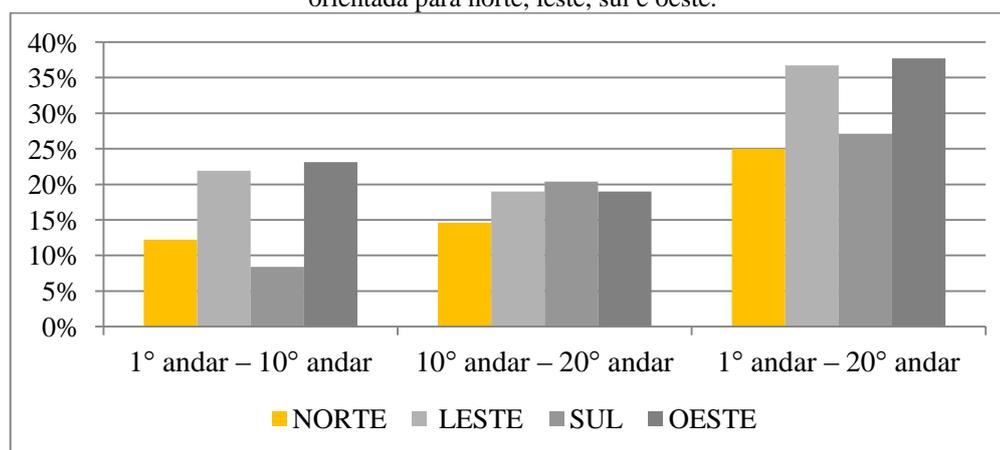
Gráfico 41- Iluminância média anual no interior do ambiente em função das três alturas do ambiente.



A princípio, quanto menores os valores percentuais de variação da EMA entre os três cenários com a presença da maior obstrução de 20 pavimentos, maior a semelhança na quantidade de iluminação natural disponível no interior do ambiente nas diferentes alturas do ambiente. Entretanto, entre as três situações estudadas os valores percentuais encontrados são significativos, para todas as orientações (Gráfico 42).

Nas orientações oeste e leste, a diferença de EMA no interior do ambiente ao aumentar a altura do 1º andar para o 10º andar é de 23,1% e 21,9% respectivamente. Esta diferença é ainda mais significativa quando eleva o ambiente do 1º andar para o 20º andar: 37,7% e 36,7%, respectivamente, para oeste e leste (Gráfico 42), o que indica uma grande variação entre os cenários. Na abertura orientada a norte e sul, a variação de EMA é um pouco menor, de 25% a norte e 27,1% ao sul, respectivamente, quando eleva o ambiente do 1º andar para o 20º andar.

Gráfico 42- Variação da iluminância média anual (%) com o aumento da edificação obstruidora, para janela orientada para norte, leste, sul e oeste.



A partir dos gráficos de iluminância média mensal (Gráfico 43 a Gráfico 46), é possível também verificar um significativo acréscimo de iluminação entre as três alturas do ambiente. A variação mensal ao longo do ano é semelhante ao verificado no parâmetro altura da obstrução. Observou que o ambiente localizado no vigésimo andar, último pavimento, apresenta maiores valores de EMM, inclusive quando comparado ao ambiente simulado sem a presença de obstrução no seu entorno, isso se deve pela contribuição da luz que reflete na obstrução e incide no interior do ambiente, o que contribui para elevação do nível de iluminação natural.

Na janela orientada a norte, o ambiente localizado no 20º andar apresenta EMM acima de 2.000 lx em todo o ano (Gráfico 43). O ambiente no 1º e 10º andar a EMM permanece na

faixa útil de iluminação no início e no final do ano. Diferente do que acontece nos cenários com a abertura orientada a norte, na orientação sul, durante metade do ano, o ambiente localizado no 20° andar mantém os valores de EMM na faixa útil e o ambiente no 1° e 10° andar, em quase todos os meses alcança os valores de iluminância útil, exceto no início e final do ano.

Gráfico 43- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a norte das 8h às 16h.

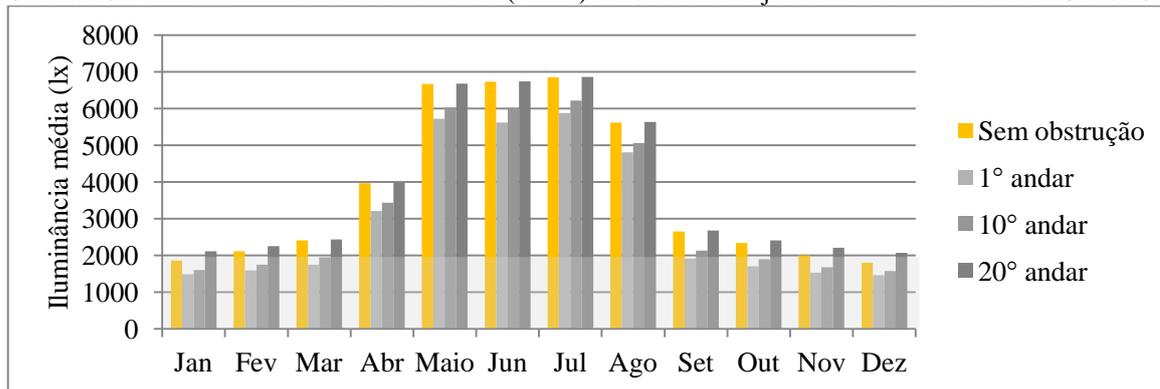
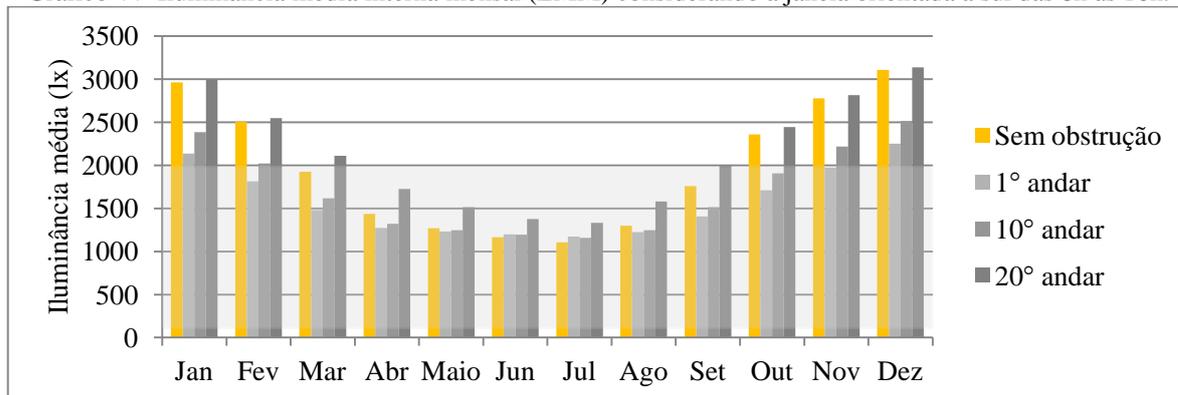


Gráfico 44- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a sul das 8h às 16h.



Nos Gráfico 45 e Gráfico 46, nota-se os elevados valores EMM, acima de 2.000 lx, durante todo ano, nos três cenários estudados para a abertura orientada para leste e oeste, principalmente nos meses de fevereiro, março, setembro e outubro, com destaque para o ambiente localizado no 20° andar, que recebe a contribuição da luz refletida na obstrução para a iluminação interna.

Gráfico 45- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a leste das 8h às 16h.

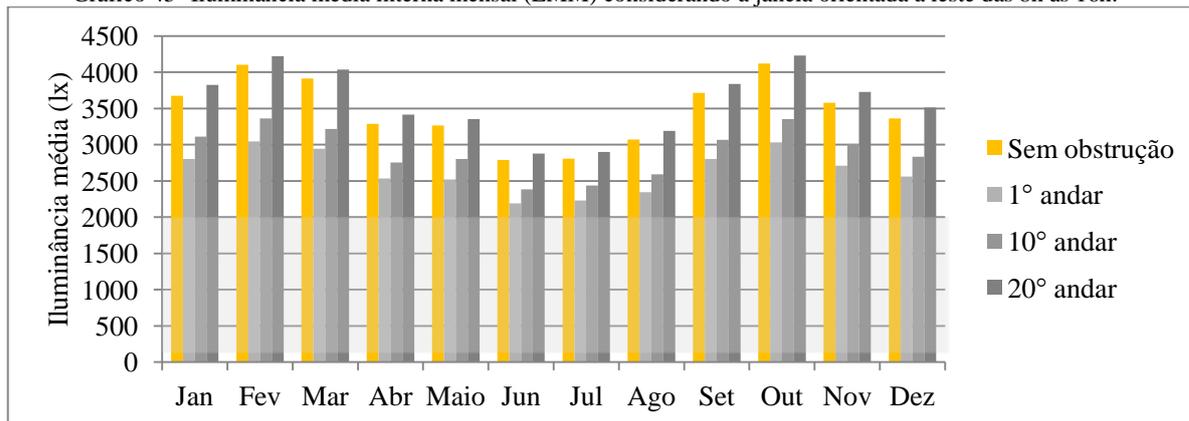
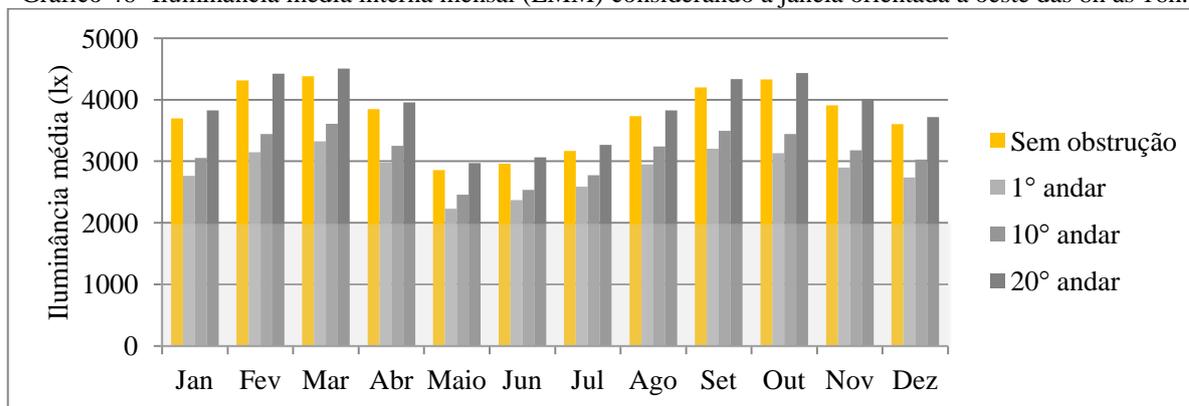


Gráfico 46- Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a oeste das 8h às 16h.

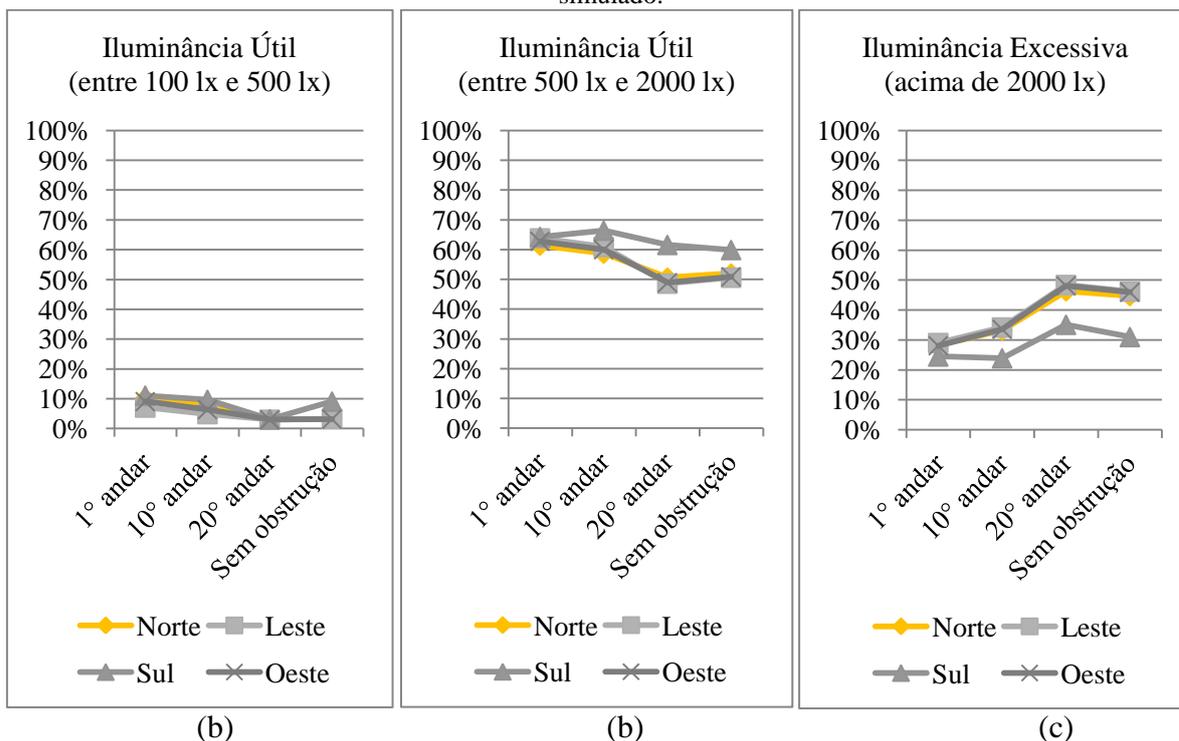


Classificação através da IULN

Em uma pequena parcela do tempo ao longo do ano, os cenários apresentam a iluminação natural no intervalo de iluminância útil de luz natural, de 100 lx a 500 lx (Gráfico 47 (a)), o qual necessita de complementação com luz artificial. O 1º andar apresentou os maiores percentuais nesta faixa, atingiu o maior valor de 11,1% na orientação sul e os menores valores no ambiente localizado no 20º andar, em torno de 3%.

No intervalo de 500 lx a 2.000 lx, o 1º andar apresentou os maiores valores percentuais, entre 61% a 65%, apesar do ambiente localizado no 1º e no 10º andar apresentarem percentuais próximos. Na orientação sul, o ambiente no 10º andar atingiu 2,1% a mais de tempo que o ambiente localizado no 1º andar (Gráfico 47 (b)). O ambiente situado no 20º andar, neste intervalo, apresentou valores em torno de 50% para norte, leste e oeste, enquanto na janela orientada a sul, por receber menos incidência de luz solar direta ao longo do ano, atingiu 61,6%.

Gráfico 47- (a) intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN, ao longo do ano no intervalo de horas simulado.



As três alturas do ambiente apresentaram valores significativos no intervalo de iluminação natural excessiva no interior do ambiente (Gráfico 7 (c)). Como previsto, o ambiente localizado no 20º andar obteve os maiores percentuais na faixa excessiva, alcançou 48,4% para o ambiente com a abertura orientada a leste, maior até mesmo que o cenário sem obstrução, que atingiu por sua vez, 46,2%. Tais resultados indicam que a presença da obstrução para os ambientes situados no último andar, pode contribuir para a elevação da luz natural excessiva no interior do ambiente, diferente das outras duas situações que ela proporciona a diminuição da iluminação natural excessiva.

No geral, mais da metade do tempo ao longo do ano, o nível de iluminação natural apresentou-se dentro da faixa útil de iluminação, entre 100 lx e 2.000 lx. O cenário no qual o ambiente está localizado no 1º andar apresenta as maiores porcentagens dentro do intervalo útil. Na janela com orientação ao sul foram atingidos os maiores percentuais em relação as três alturas do ambiente, de modo que o maior valor percentual foi observado no ambiente situado no 10º andar.

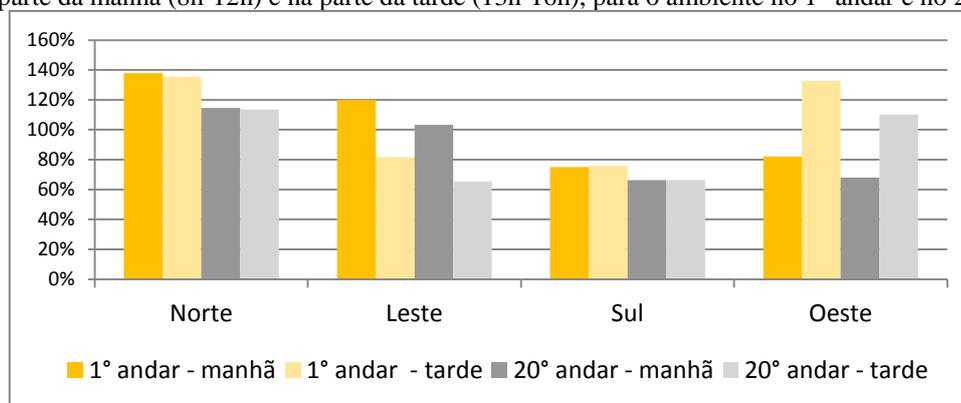
Uniformidade da iluminação

Este item refere-se ao efeito do ambiente localizado no 1º andar e no 20º andar na uniformidade da luz natural, a menor e a maior altura possível na área em estudo que

apresentaram os menores e os maiores valores de EMA respectivamente. O Gráfico 48 apresenta os resultados obtidos para o efeito da altura da obstrução no coeficiente de variação (CV) das iluminâncias obtidas durante todo ano no período da manhã de 8h as 12h e no período da tarde das 13h as 16h.

Os resultados demonstram que em relação às quatro orientações, a variação dos valores percentuais do CV foram semelhante a todos os parâmetros anteriores, exceto ao parâmetro afastamento lateral. O Gráfico 48 apresenta altos valores do coeficiente de variação para as duas alturas do ambiente em todas as orientações, o que sugere pouca uniformidade da iluminação natural no interior do espaço. Entretanto, o cenário no qual o ambiente está localizado no 20° andar apresenta melhor uniformidade da iluminação no interior do ambiente. Ao aumentar a altura do 1° para 20° andar os valores de CV diminuíram tanto no período da manhã como à tarde nas quatro orientações, atingiram-se os menores valores no 20° andar na orientação sul com 66% pela manhã e a tarde e os maiores valores no 1° andar na orientação norte com 138% pela manhã e 135,6% pela tarde.

Gráfico 48- Influência do afastamento frontal no coeficiente de variação das iluminâncias obtidas durante todo ano na parte da manhã (8h-12h) e na parte da tarde (13h-16h), para o ambiente no 1° andar e no 20° andar.



Para demonstrar a forma de distribuição física da luz no ambiente na Figura 43 e na Figura 44 são ilustradas as isocurvas dos valores de iluminância média anual no plano de trabalho, no período da manhã das 8h as 12h e o período da tarde das 13h as 16h, para as orientações norte e sul. As isocurvas para a janela orientada a leste e oeste podem ser encontradas no apêndice B. A distribuição é semelhante ao parâmetro anterior estudado.

A presença de iluminância excessiva se dá nos dois primeiros metros do ambiente localizado no 1° andar e nos três primeiros metros do ambiente localizado no 20° andar, este dado pode justificar a melhor uniformidade para o segundo caso, indicado pelos valores de

CV. Nesta área próxima a janela há um aumento da iluminância ao elevar a altura do ambiente do 1º para o 20º andar devido a maior porcentagem de céu visível.

Na metade da sala próxima a janela é onde ocorre a maior variação na distribuição, já a outra metade da sala mais ao fundo há uma maior uniformidade da iluminação que varia entre 1.000 lx e 2.000 lx nas quatro orientações, ou seja, dentro da faixa útil de iluminação. Na janela orientada a sul (Figura 44) apresenta a melhor distribuição da iluminação no plano de trabalho tanto para o ambiente 1º andar quanto para o ambiente no 20º andar.

Figura 43- Isocurvas de iluminância para os cenários com o ambiente no 1º andar (acima) e no 20º andar (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.

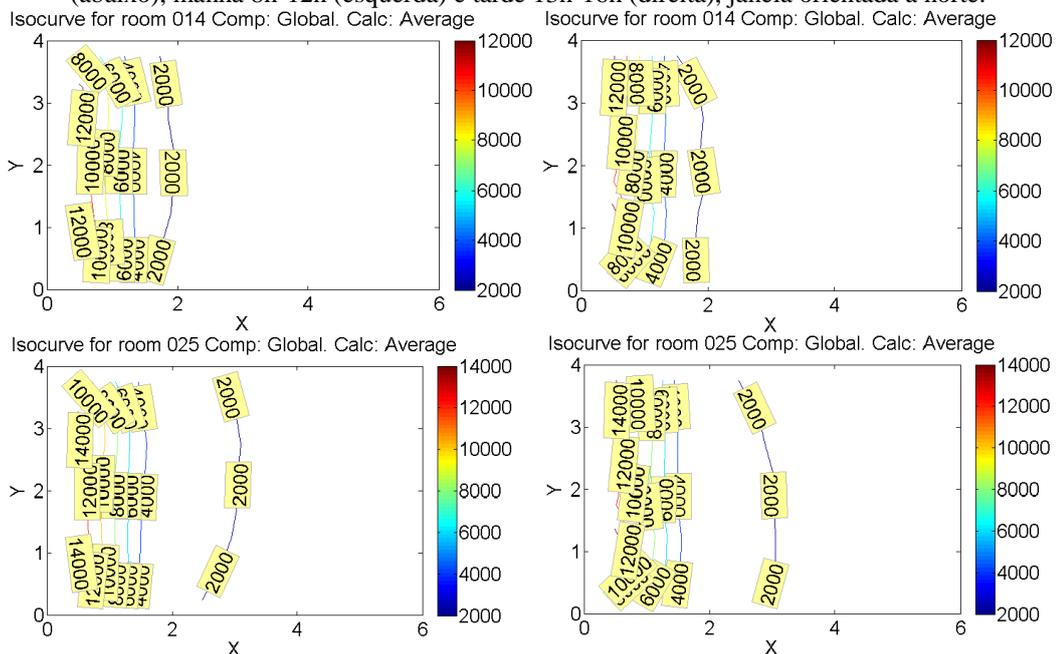
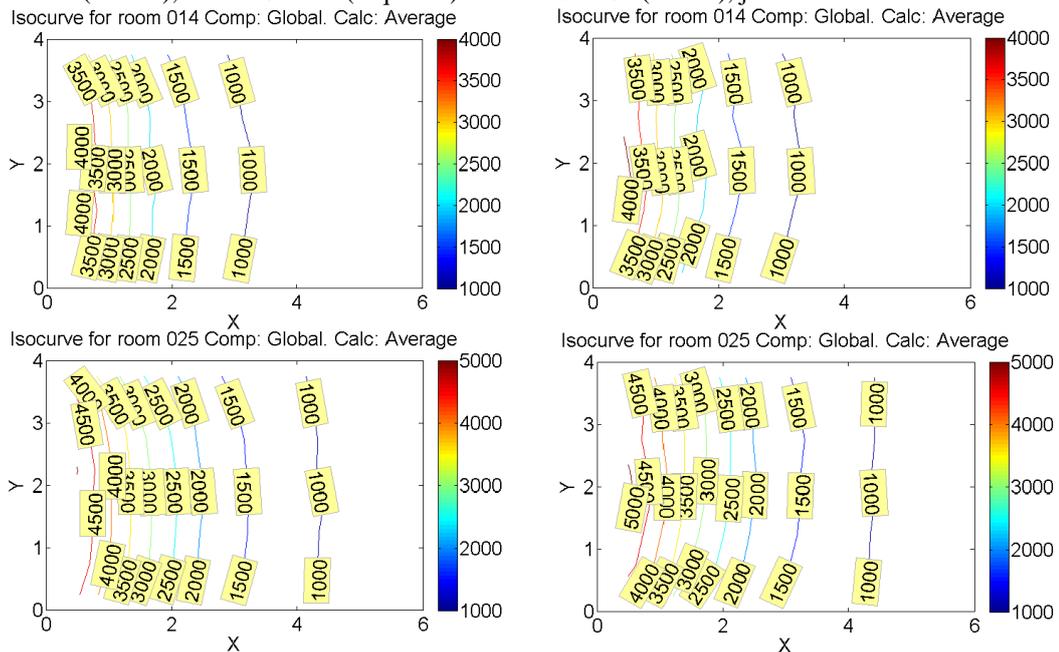


Figura 44- Isocurvas de iluminância para os cenários com o ambiente no 1º andar (acima) e no 20º andar (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.



Síntese dos Resultados e Discussões

A partir das análises dos resultados obtidos através de simulação computacional para os 6 parâmetros estudados o Quadro 4 apresenta a síntese dos principais resultados obtidos para cada parâmetro, como resposta aos seguinte questionamentos:

1. Qual cenário atingiu os maiores valores de EMA?
2. Qual cenário atingiu os menores valores de EMA?
3. Entre quais cenários obteve a menor variação dos valores de EMA?
4. Qual cenário causa maior interferência no nível de iluminação natural?
5. Qual cenário causa menor interferência no nível de iluminação natural?
6. Qual cenário apresenta maior ocorrência de valores de iluminância no intervalo de 100 lx a 500 lx?
7. Qual cenário apresenta maior ocorrência de valores de iluminância no intervalo de 500 lx a 2.000 lx?
8. Qual cenário apresenta maior ocorrência de valores de iluminância acima de 2.000 lx?
9. Qual cenário apresenta melhor distribuição da iluminação natural?

Quadro 4- Síntese dos principais resultados e discussões para cada parâmetro através da resposta dos nove questionamentos.

Parâmetro	Cenários	Quest.1	Quest.2	Quest.3	Quest.4	Quest.5	Quest.6	Quest.7	Quest.8	Quest.9
Largura da Via (LV)	LV.12 - 10_20 pav.		x	x	x		x			-
	LV.14 - 10_20 pav.			x				x		-
	LV.18 - 10_20 pav.									-
	LV.29 - 10_20 pav.	x				x			x	-
Altura da Obstrução (HO)	HO - 10_10 pav.	x				x	x		x	
	HO - 10_15 pav.			x						
	HO - 10_20 pav.		x	x	x			x		x
Refletância Especular (RE)	RE - 10_10 pav.	x				x	x		x	
	RE - 10_15 pav.			x						
	RE - 10_20 pav.		x	x	x			x		x
Afastamento Frontal (AF)	AF- 10_10 pav.	x		-		x	x		x	
	AF- 15_15 pav.		x	-						
	AF- 20_20 pav.		x	-	x			x		x
Afastamento Lateral (AL)	AL - 10_10 pav.		x	-	x		x			
	AL- 15_15 pav.			-						
	AL - 20_20 pav.	x		-		x		x	x	x
Altura do Ambiente (HÁ)	HA.1°- 20_20 pav.		x	x	-	-	x	x		
	HA.10°- 20_20 pav.			x	-	-				
	HA. 20°- 20_20 pav.	x			-	-			x	x

Parâmetro Largura da Via

De acordo com o Quadro 4, a via com largura de 29 m (a maior largura) apresentou os maiores valores de EMA, enquanto que a largura de 12 m (a menor largura) atingiu os menores valores de EMA, justificado pelo aumento da porcentagem de céu visível.

Quando comparado à variação do acréscimo de EMA entre as vias, o aumento da largura de via de 12 m para 14 m apresentou a menor variação, entre 0,4% e 2% nas quatro orientações, isto indica que alteração na largura da via, para este caso, praticamente não altera o nível de iluminação no interior do ambiente. Ao considerar a presença da obstrução de 20 pavimentos a largura de via que apresentou a maior interferência no nível de iluminação no interior do ambiente foi a de 12 m, com redução de 37,8% da EMA na orientação oeste, enquanto que a via com 29 m apresentou menor interferência na redução da EMA, 15% com a janela orientada a norte ou a sul.

Ao longo do ano, os cenários com vias de 12 m, 14 m e 18 m apresentaram em torno de 70% das horas simuladas a ocorrência de iluminância no intervalo útil entre 100 lx e 2.000 lx. Além disso, observou-se através da IULN que todas as larguras de via obtiveram em torno de 60% das horas estudadas os valores de iluminância no intervalo de 500 lx a 2.000 lx, faixa que não necessita de complementação de luz artificial. Entretanto a via com 29 m apresentou a maior ocorrência de iluminância excessiva nas horas simuladas, alcançou 33,4% na orientação leste.

Os resultados demonstram que a variação da uniformidade da iluminação no interior do ambiente ao aumentar a via de 12 m para 29 m de largura vai depender da orientação e do período do dia, de modo que não há a possibilidade de destacar através do CV uma largura de via que proporcione melhor uniformidade de iluminação para as diferentes orientações e períodos do dia deste estudo.

Portanto, todas as larguras de vias estudadas apresentaram interferência na disponibilidade de luz solar no interior do ambiente, com destaque para a via com 12 m, 14 m e 18 m, que apresentaram na maior parte das horas analisadas os valores de iluminância no intervalo útil.

Parâmetro Altura da Edificação Obstruidora

Os maiores valores de EMA alcançados ocorreram no cenário em que o ambiente está exposto à menor obstrução, de 10 pavimentos, situação que apresenta a maior porcentagem de

céu visível. Os menores valores de EMA atingidos ocorreram no ambiente exposto a maior obstrução, de 20 pavimentos, o cenário que apresenta menor porcentagem de céu visível.

Ao elevar a obstrução de 15 para 20 pavimentos houve pequena variação nos valores de EMA, entre 0,4% e 5,7%, no interior do ambiente, o que indica que o aumento da altura da obstrução entre esses cenários pouco interferiu na disponibilidade de luz no interior do ambiente. Através dos resultados dos valores de EMA, para cada cenário, é possível identificar que o cenário com obstrução de 20 pavimentos apresentou maior interferência da obstrução no nível de iluminação natural interna: alcançou 37,8% na orientação oeste e o cenário com a obstrução de 10 pavimentos mostrou menor interferência, de 18,5% na orientação norte.

Apesar do ambiente exposto a obstrução de 10 pavimentos, apresentar os maiores percentuais no intervalo de IULN entre 100 lx a 500 lx acima de 10%, também alcançou os maiores percentuais no intervalo de iluminação excessiva, 29% nas orientações norte, leste e oeste, o que justifica os elevados valores de EMA atingidos. Os cenários apresentaram desempenho satisfatório em relação a IULN, pois a maior parte do tempo, ao longo do ano, os valores de iluminância se mantiveram no intervalo entre 100 e 2.000 lx. Destaca-se o cenário com a presença da obstrução de 20 pavimentos, que apresentou os maiores valores percentuais na faixa de 500 lx a 2.000 lx, em torno de 62%, quando não necessitaria de complementação da luz artificial, assim como também apresentou os maiores percentuais dentro da faixa útil de 100 a 2.000 lx, em torno de 72%.

Com base nos valores de CV e na análise da distribuição física da iluminação por meio das isocurvas, verificou-se que o cenário com a obstrução de 20 pavimentos apresentou a melhor distribuição das iluminâncias, apesar de nenhum dos cenários estudados atingirem uma satisfatória uniformidade da iluminação no interior do ambiente.

Parâmetro Refletância das Superfícies Externas Verticais

Observa-se no Quadro 4 que apesar da alteração de superfície difusa pela superfície especular elevar os valores de EMA nos três cenários, principalmente para o ambiente com a janela orientada a leste e oeste, os quais atingem até 13,2% e 11,5% de acréscimo, a síntese dos resultados foram semelhantes, quanto maior a obstrução menor os valores de EMA. Exceto na janela orientada ao sul, que apresenta um comportamento inverso às outras orientações, quanto maior a obstrução menor a porcentagem de céu visível, até 10,7% maior a quantidade de luz natural no interior. Isto ocorre na orientação sul, devido à significativa

participação da luz natural refletida no entorno para o interior do ambiente. Conseqüentemente, quanto maior a obstrução, mais área de superfície para refletir a luz.

Parâmetro Afastamento Frontal

Verifica-se na síntese dos resultados no Quadro 4 a semelhança entre os seguintes parâmetros: altura da obstrução, refletância e afastamento frontal. Neste último parâmetro, ao comparar o menor afastamento possível (ocupação da área por edifícios de 10 pavimentos) com o maior afastamento (ocupação da área por edifícios de 20 pavimentos), na primeira situação, com menor proximidade entre os edifícios, a presença da obstrução reduziu em até 23,9% a EMA. Enquanto que na segunda situação, a presença da obstrução reduziu até 35,9% a EMA, apesar de possuir maior distanciamento entre as edificações.

Dos três cenários analisados, neste parâmetro, o ambiente exposto a obstrução de 20 pavimentos apresentou os menores valores de EMA e alcançou, na maior parte do tempo, a iluminância útil no intervalo de 100 lx a 2.000 lx.

Parâmetro Afastamento Lateral

Este parâmetro se diferencia dos demais estudados por apresentar valores de EMA menores, abaixo de 1.200 lx. Neste caso, o cenário com a presença da obstrução de 15 pavimentos apresentou o melhor desempenho no aproveitamento da iluminação natural no interior do ambiente, pois atingiu elevados valores de EMA e na maior parte do tempo manteve os valores de iluminância no intervalo útil de 100 lx a 2.000 lx.

Ao contrário do que acontece no afastamento frontal, a menor obstrução com 10 pavimentos apresentou maior interferência na redução de EMA, com isso alcançou os menores valores de EMA e manteve em torno de 50% do tempo a iluminância no intervalo útil entre 100 lx e 500 lx, faixa que necessita de complementação de iluminação artificial. Além disso, apresentou em 11,7% das horas simuladas, na orientação oeste, a iluminância no intervalo abaixo de 100 lx.

No geral, os três cenários se mostraram eficientes para o aproveitamento da luz natural no interior do ambiente, pois garante o acesso a luz solar e mantém na maior parte das horas simuladas a iluminância no intervalo útil de 100 lx a 2.000 lx. Destaca-se o cenário com a obstrução de 20 pavimentos, que manteve em até 46,9% das horas simuladas a iluminância no intervalo útil de 500 lx a 2.000 lx.

Parâmetro Altura do Ambiente

Ao elevar o ambiente localizado no 1° andar para o 20° andar foi atingido uma significativa elevação da EMA no interior do ambiente, devido ao aumento da porcentagem de céu visível. Quanto mais alto o ambiente estiver localizado, menor a interferência da obstrução (bloqueio ao acesso à luz solar) e mais significativa à sua contribuição na elevação da EMA através da luz refletida. Com isto, o ambiente localizado no 20° andar, apesar de manter sua iluminância dentro do intervalo útil entre 51% e 65% das horas simuladas, apresentou também elevados percentuais de iluminância excessiva, variando entre 35% e 48,4% das horas simuladas para os cenários relativos a este parâmetro. Contudo, apresentou a melhor distribuição da iluminação no plano de trabalho.

Ao comparar as três situações, a EMA sofre menor variação entre os cenários nos quais o ambiente está localizado no 1° e 10° andar. Entre esses dois cenários, o que apresenta melhor aproveitamento da luz natural no interior do ambiente é o ambiente situado no 1° andar, por apresentar entre 71% e 76% das horas simuladas a ocorrência de iluminância útil, entre 100 lx e 2.000 lx.

CONCLUSÃO

A dissertação apresentada analisou comparativamente a interferência de parâmetros urbanísticos e edifícios no acesso a luz natural no interior do ambiente em Maceió-AL. Os resultados foram obtidos por meio de simulação computacional, através do software TropLux, que demonstrou ser uma ferramenta adequada ao formato da pesquisa, pois possibilitou a modulação do ambiente e do entorno construído e apresentou resultados sobre a influência dos diferentes cenários na disponibilidade de luz natural, conforme descrito a seguir.

Largura da via - Verificou-se que quanto maior a largura de via, maior a porcentagem de céu visível e maior a quantidade de iluminação no interior do ambiente. Entre os resultados obtidos, constatou-se que a presença da obstrução, separada pelas diferentes larguras de vias, pode diminuir em até 37,8% a iluminância média anual no ambiente orientado a oeste, ao considerar a via de menor largura com 12 m, e no mínimo 15% no ambiente orientado ao sul e ao norte, ao considerar a via de maior largura com 29 m. As quatro larguras de vias simuladas apresentaram altos índices de ocorrência de iluminância útil, no intervalo de 100 a 2.000 lx. A via com 12 m de largura atingiu os maiores valores de porcentagem neste intervalo, em torno de 70%. Pode-se concluir que em todos os casos são larguras suficientes para o aproveitamento da luz natural.

Altura da obstrução - Para os casos de obstrução analisados, quanto maior a altura da edificação obstruidora, menor a porcentagem de céu visível e menor a EMA no interior do ambiente. O ambiente simulado sem a presença de obstrução alcançou valores excessivos de iluminância média ao longo do ano no intervalo das 8h às 16h. Já a presença da maior obstrução (20 pavimentos), apesar de reduzir em 37,8% os valores de EMA, se mostrou favorável no aproveitamento de iluminância útil no interior do ambiente por manter a ocorrência de iluminância útil em torno de 72% das horas simuladas.

Refletância - O ambiente exposto à obstrução com superfície vertical especular atingiu valores maiores de EMA do que a superfície difusa, principalmente nas orientações leste e oeste, que elevaram em até 13,2% e 11,5%, respectivamente, o nível de iluminação natural. Diante dos resultados expostos, pode-se afirmar que as edificações obstruidoras com superfícies espelhadas interferem menos no nível de iluminação natural no interior do ambiente do que aquelas que possuem superfície difusa, principalmente para a janela exposta à obstrução de 20 pavimentos. Enquanto que a superfície difusa apresenta redução da EMA de 27,1%, 36,1% e 37,8% com a presença da obstrução de 20 pavimentos nas orientações norte,

leste e oeste respectivamente, a superfície especular apresenta uma redução da EMA de 25,6%, 26,4% e 29,8% quando inserida a obstrução nas orientações norte, leste e oeste respectivamente.

Com a elevação da EMA, devido a reflexão da luz na superfície especular, além de aumentar o nível de luz excessiva, aumenta também a possibilidade de ocorrência de ofuscamento. Portanto, a obstrução com superfícies difusas, para este estudo, apresentou-se mais indicada e apresenta maior ocorrência de iluminação útil (pela diminuição da ocorrência de iluminância excessiva) nas orientações norte, leste e oeste.

Afastamento frontal e lateral - Os resultados demonstraram que a altura da edificação obstruidora pode ser compensada pelo afastamento entre as edificações, de modo a alterar a porcentagem de céu visível. No parâmetro AF o cenário com a maior altura de obstrução apresentou a menor porcentagem de céu visível e consequentemente os menores valores de EMA no interior do ambiente, enquanto que o parâmetro AL o cenário com maior altura de obstrução apresentou a maior porcentagem de céu visível e os maiores valores de EMA no interior do ambiente.

Altura do ambiente - A obstrução interfere na disponibilidade de luz natural quando o ambiente está localizado no último pavimento (20° andar), mas não por bloquear o acesso a luz e sim por contribuir para a elevação dos valores de EMA, o que resulta em altos índices de ocorrência de iluminância excessiva no interior do ambiente. Com isso, o ambiente localizado no 1° andar, que a princípio foi considerada a situação menos privilegiada para o acesso a luz solar devido a menor porcentagem de céu visível, obteve melhor desempenho da iluminação natural, pois manteve a ocorrência de iluminância útil acima de 70% das horas simuladas.

A princípio, quanto menor a interferência da obstrução, mais propicia a disponibilidade de luz natural no interior do ambiente. Entretanto a presença da obstrução para os casos simulados, apesar de reduzir na maioria das vezes o nível de iluminação natural no ambiente interno, também se mostrou eficaz para o aproveitamento da luz solar, por manter na maior parte das horas analisadas, os valores de iluminância no intervalo útil de 100 lx a 2.000 lx. Apesar dos resultados para os cenários estudados apresentarem-se favoráveis para disponibilidade de luz natural no litoral norte de Maceió, a captação de luz solar é um dos aspectos a serem considerados no meio urbano para o bem estar da cidade e do usuário, devendo-se considerar entre outros fatores o saneamento básico e o transporte.

Os resultados do estudo realizado por Laranja (2010), para a cidade de Vitória-ES demonstraram que, diante dos parâmetros de malha urbana propostos pelas normas

urbanísticas e edificações para o local, os valores de iluminância média no interior do ambiente sofreram significativa redução. Segundo a autora, a presença das edificações obstruidoras apresentou interferência negativa para o desempenho da iluminação da luz natural, no intervalo das 7h as 17h. Entretanto, para cidade de Maceió-AL, o presente estudo apresentou valores de iluminância média anual mais elevados, chegando a cerca de 70% das horas no intervalo útil de 100 lx a 2.000 lx.

Acredita-se que as principais contribuições deste trabalho para a área estudada consistem em destacar a importância da inserção no Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió – Lei Municipal 5.593/07 (MACEIÓ, 2007) de parâmetros que propiciem de maneira mais eficaz o aproveitamento da luz natural no interior do ambiente, de modo que independentemente da taxa de ocupação adotada pelo arquiteto seja garantido o mesmo acesso à luz natural. Contribui-se, assim, no controle da disponibilidade da iluminância no ambiente interno e conseqüentemente a possibilidade de reduzir o consumo de energia elétrica por meio da iluminação artificial.

Por fim, entende-se que os objetivos inicialmente propostos foram alcançados. A realização desta pesquisa permitiu o aprofundamento da temática e direcionamento para trabalhos futuros que envolvam a análise comparativa da interferência de parâmetros urbanísticos e edificações na disponibilidade de iluminação no ambiente interno.

Limitações da Pesquisa e Sugestões de Trabalhos Futuros

Alguns aspectos podem ser destacados no sentido de identificar pontos da pesquisa que limitam a abrangência e/ou aplicabilidade dos resultados obtidos. Expõem-se assim as limitações do trabalho, bem como sugestões de ações futuras para melhor aplicação deste estudo.

- O estudo limita-se à simulação de um único modelo de ambiente, contempla apenas uma tipologia de abertura e não considera diferentes propriedades de componentes construtivos e padrões de uso e ocupação desse tipo de ambiente.
- Limita-se também devido a simplificação do modelo da edificação na qual o ambiente está localizado e do modelo da obstrução que compõe o entorno construído.
- As simulações limitam-se à verificação do nível de iluminação natural no ambiente interno em função de uma média dos valores de iluminância em 48 pontos igualmente distribuídos no plano de trabalho durante o ano.

- A análise também se limita ao intervalo de 8h as 16h. Os valores apresentados de EMA e de porcentagem das faixas da IULN podem variar para mais ou para menos, conforme a amplitude de horas do dia consideradas no estudo. Os gráficos presentes no apêndice D apresentam os resultados de simulações do cenário base no intervalo de horas de 7h as 17h e 9h as 15h.

Trabalhos futuros podem ser realizados com temática semelhante, porém com diferenças no campo de abrangência dos resultados, ao envolver:

- Características diferenciadas do ambiente e outras tipologias de abertura, bem como a associação de dispositivos de proteção solar, o que permite variadas combinações com os parâmetros urbanísticos e edifícios na investigação sobre a interferência ao acesso de iluminação natural no ambiente interno;
- Outro aspecto a ser considerado é a variação da forma arquitetônica definida pelo arquiteto, que pode afetar o acesso à luz solar independentemente da forma edilícia do entorno construído.
- A definição de outros pontos no ambiente para uma análise mais aprofundada da caracterização das condições de iluminação natural no interior das edificações.

Além disso, podem ser realizadas pesquisas em outras localidades que apresentem outros parâmetros urbanísticos e edifícios, além de diferentes características climáticas. Isto possibilitará novas investigações, que podem incluir a verificação da associação dos parâmetros na disponibilidade de iluminação natural como também correlacionar com o desempenho térmico.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Daísy D. **Avaliação da influência da luz natural na redução do consumo de energia em edifícios comerciais: uma análise em Maceió-AL.** Maceió, 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas.

ALMEIDA, Alana Mello de. **Conforto térmico e eficiência energética em edifícios multifamiliar na cidade de Maceió-AL.** Maceió, 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado). Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas.

ARAÚJO, Iuri A. L.; CABÚS, R. C. **Influência da luz natural refletida pelo entorno para a iluminação de edifícios em cânions urbanos no trópico úmido.** Maceió, 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado). Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas.

ARBOIT, Mariela; ROSA, Carlos de; MESA, Alejandro. Solar obstruction assessment model for densely forested urban environments. **Architectural Science Review**, v. 53, issue 2, p.224, June 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575:** Edificações Habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15215-4:** Iluminação natural - Parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 5413:** Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 8995-1:** Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

BAKER, N. V; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS K. A. **Daylighting in architecture: a european reference book.** Commission of the European Communities. London: James & James, 1993.

BAKER, N. and STEEMERS, K. **Daylighting Design of Buildings**. James and James Editors, London, 2002.

BARBOSA, Gabriela Biana. **Arquitetura contemporânea em Maceió (1980-2008): uma reflexão crítica**. Maceió, 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado). Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas.

BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos**. 4ª ed. rev. e ampl. EDUFAL, Maceió, 2004.

BRASIL. Lei n. 10.295/1, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200110295.pdf>> Acesso em: 01/10/2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional De Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO. **Portaria n.º 18, de 16 de janeiro de 2012**. Rio de Janeiro, 2012.

BRANDÃO, R. S.; ALUCCI, M. P. **Solar access in tropical cities: towards a multicriteria solar envelope**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 22., 2005, Beirut. **Proceedings...** Beirut: Passive and Low Energy Architecture Association (PLEA), 2005.

BRIOSCHI, Rosângela. **Análise paramétrica da relação entre massa edificada e níveis sonoros no ambiente urbano por simulação computacional**. Florianópolis, 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina.

CABÚS, R. C. **Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil**. England, 2002. Tese (Doctor of Philosophy). School of Architectural Studies. University of Sheffield.

_____. **TropLux**, versão 5: Guia do Usuário, Maceió: Grilu, 2011.

_____. **TropLux**, versão 6.0.15, Maceió: Grilu, 2014.

_____. **Troplux: um sotaque tropical na simulação da luz natural em edificações**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, AL, 2005.

_____. **TropSolar**, versão 4.0. Maceió: Grilu, 2011.

_____. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

CAPELUTO, I. G. The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel. **Building and Environment**, London, v. 38, issue 5, p.745-752, may 2003.

CASTANHEIRA, L. M. **Estudo da influência da luz natural na qualidade da iluminação e na eficiência energética**. Lisboa, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação da Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa.

CETINER, Ikbal; O' ZKAN, Ertan. An approach for the evaluation of energy and cost efficiency of glass façades. **Energy and Buildings**, v. 37, issue 6, p. 673–684, 2005.

CIAMPINI, F.; NEVES, A. A. R.; SCARAZZATO, P. S. **Low cost data acquisition module for evaluating the quantitative performance of daylight systems**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 22., 2005, Beirut. **Proceedings...** Beirut: Passive and Low Energy Architecture Association (PLEA), 2005.

CIE – COMMISSION INTERNATIONALE L'ACLAIRAGE. **Spatial distribution of daylight** – CIE standard general sky. Publication CIE S 011/E:n2003. Viena, Áustria, 2003.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

GHSI, Eneidir; TINKER, John A.; IBRAHIM, Siti Halipah. **Área de janela e dimensões de ambientes para iluminação natural e eficiência energética: literatura versus simulação computacional**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 81-93, out./dez. 2005.

GUTIERREZ, Grace C. R.; LABAKI, Lucila C. **Considerações Sobre o Brise-Soleil na Arquitetura Moderna Brasileira**. VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído – ENCAC e IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído – ELACAC. Maceió, 2005.

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

LAM, Joseph C. Residential sector air conditioning loads and electricity use in Hong Kong. **Energy Conversion & Management**, v.41, issue 16, p. 1757±1768, 2000.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, 2ª edição. São Paulo: Prolivros, 2004.

LARANJA, Andréa C. **Parâmetros urbanos e a disponibilidade de iluminação natural no ambiente interno**. Rio de Janeiro, 2010. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LAU, Kl; NG, E; HE, Jz. Preferred solar access in high-density, sub-tropical housing. **Lighting Research & Technology**, v.45, issue 3, p. 317-330, 2013.

LEDER, S. M. **Ocupação urbana e luz natural: proposta de parâmetro de controle da obstrução do céu para garantia da disponibilidade à luz natural**. Florianópolis, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade Federal de Santa Catarina.

LI, D. H. W.; WONG, S. L.; TSANG, C. L; CHEUNG, G. H. W. A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. **Energy and Buildings**, v. 38, issue 11, p. 1343 - 1348, 2006.

LI, Danny H.W; TSANG, Ernest K.W. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, v. 43, issue 9, p. 1446–1458, 2008.

LITTLEFAIR, Paul. Passive solar urban design: ensuring the penetration of solar energy into the city. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 2, issue 3, p. 303-326, 1998.

LITTLEFAIR, Paul. Daylight, sunlight and solar gain in the urban environment. **Solar Energy**, v. 70, issue 3, p. 177-185, 2001.

MACEIÓ, **Lei n°. 5528 de dezembro de 2005**. Institui o Plano Diretor de Maceió, estabelece diretrizes gerais de política de desenvolvimento urbano e dá outras providências. 2005. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br>> Último acesso em 10 de setembro de 2013.

MACEIÓ, **Lei Municipal N° 5.593, de 08 de Fevereiro de 2007**. Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió. Disponível em <<http://www.maceio.al.gov.br>> Último acesso em 10 de setembro de 2013.

MAJOROS, Andrés. **Daylighting**. PLEA Notes, Note 4. PLEA in Association with Department of Architecture, the University of Queensland. Edited by S.V.Szokolay, 1998.

MAYHOUB, Mohammed. **Building Regulations Influence on Sunlight Penetration**. In: CONFERENCE, OPPORTUNITIES, LIMITS & NEEDS TOWARDS AN ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ARCHITECTURE, 28., 2012, Lima. **Proceedings...** Opportunities, Limits & Needs Towards an Environmentally Responsible Architecture (PLEA), 2012.

MELO, Juliana Duarte de. **Caracterização climática da cidade de Maceió como subsídio a decisões de planejamento**. Maceió, 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado). Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas.

MOORE, Fuller. **Concepts and Practice of Architectural Daylighting**. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991.

MORAES, O.; SCARAZZATO, P. S. **Iluminação Natural no meio urbano: estudo de caso com o método dos indicadores de altura admissíveis aplicado a campinas**. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 7. Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações, 3. 2003, Curitiba. **Anais....** Curitiba, 2003.

MOUSSADEK, D.; RAFIK, B. **Urban form participation in controlling solar irradiation: Emphasis on the role of the street in hot dry regions**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ARCHITECTURE, 22., 2005, Beirut. **Proceedings...** Beirut: Passive and Low Energy Architecture Association (PLEA), 2005.

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. **Energy and Buildings**, v. 38, issue 7, p. 905-913, 2006.

NG, E.; WONG, N. H. **Better daylight and natural ventilation by design**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 21., 2004, Eindhoven, Netherlands. **Proceedings...** Eindhoven: PLEA, 2004.

NG, E. **A study of the relationship between daylight performance and height difference of buildings in high density cities using computational simulation**. In: INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION CONFERENCE, 9., 2005, Montreal. **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005.

NIKIFORIADIS, F.; PITTS, A. **3D digital geometric reconstruction of the urban environment for daylight simulations studies**. In: INTERNATIONAL BUILDING

SIMULATION CONFERENCE, 8., Eindhoven, Netherlands, 2003. **Proceedings...**Eindhoven: IBPSA, 2003.

ORAL, G. K.; YENER, A. K.; BAYAZIT, N. T. Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. **Building and Environment**, v.39, issue 3, p. 281-287, 2004.

PAIS, Aida M. G. **Condições de Iluminação em Ambiente de Escritório**: Influência no conforto visual. Lisboa, 2011. Dissertação (Mestrado em Ergonomia na Segurança no Trabalho). Faculdade de Motricidade Humana. Universidade Técnica de Lisboa.

PAPST, A.L.; PEREIRA, F.R.; LAMBERTS, R. Uso de simulação computacional para análise de iluminação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [S.ed.], 1998. p.347-356. CD-ROM

PEREIRA, R. C.; PEREIRA, F. O. R.; CLARO, A. Caracterização da contribuição do entorno na avaliação da iluminação natural em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 103-115, out./dez. 2008.

PHILLIPS, Derek. **Daylighting**: Natural Light in Architecture. London: Architectural Press, 2004.

RATTI, C.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Energy consumption and urban texture. **Energy and Buildings**, v. 37, issue 7, p. 762-776, 2005.

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylit zone depth rule-of-thumb. In: INTERNATIONAL BUILDING SIMULATIONS CONFERENCE, 9., Montreal, Canada, 2005. **Proceedings...** Montreal: IBPSA, 2005.

RIBEIRO, Pedro V. S.; CABÚS, Ricardo C. Comparação do desempenho de parâmetros de avaliação da distribuição de iluminância em ambientes através do troplux. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió, AL, 2014.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Ed.UnB, 2001.

SALDANHA, Alessandra M. **Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edifício de Escritório**: análise do uso de fachadas de vidro diretamente expostas à radiação solar na cidade de Cuiabá-MT. Cuiabá, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e

Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso.

SANTOS, Francisco A. C. **Desempenho térmico de edificações multipavimentos: análise do uso de fachadas de vidros diretamente expostas à radiação solar na cidade de Teresina-PI.** Teresina, 2010. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Piauí.

SCALCO, Veridiana A. **Método para a avaliação dos impactos de edificações sobre a iluminação natural e insolação em vizinhanças urbanas.** Florianópolis, 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHMID, Aloísio Leoni. **A Idéia de Conforto: Reflexões sobre o ambiente construído.** Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SOUZA, Ellen P. N. **Iluminação nas áreas de hall e circulação de shopping Center: Maceió Shopping, um estudo de caso.** Maceió, 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Alagoas.

TREGENZA, P.; LOE, D. **The design of lighting.** Londres: E & FN Spon, 1998.

ÜNVER, R.; ÖZTÜRK, L.; ADIGÜZEL, S.; ÇELIK, Ö. Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices. **Energy and Building**, v. 35, issue 8, p. 737- 746, 2003.

VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura.** São Paulo: Virtus, 2001.

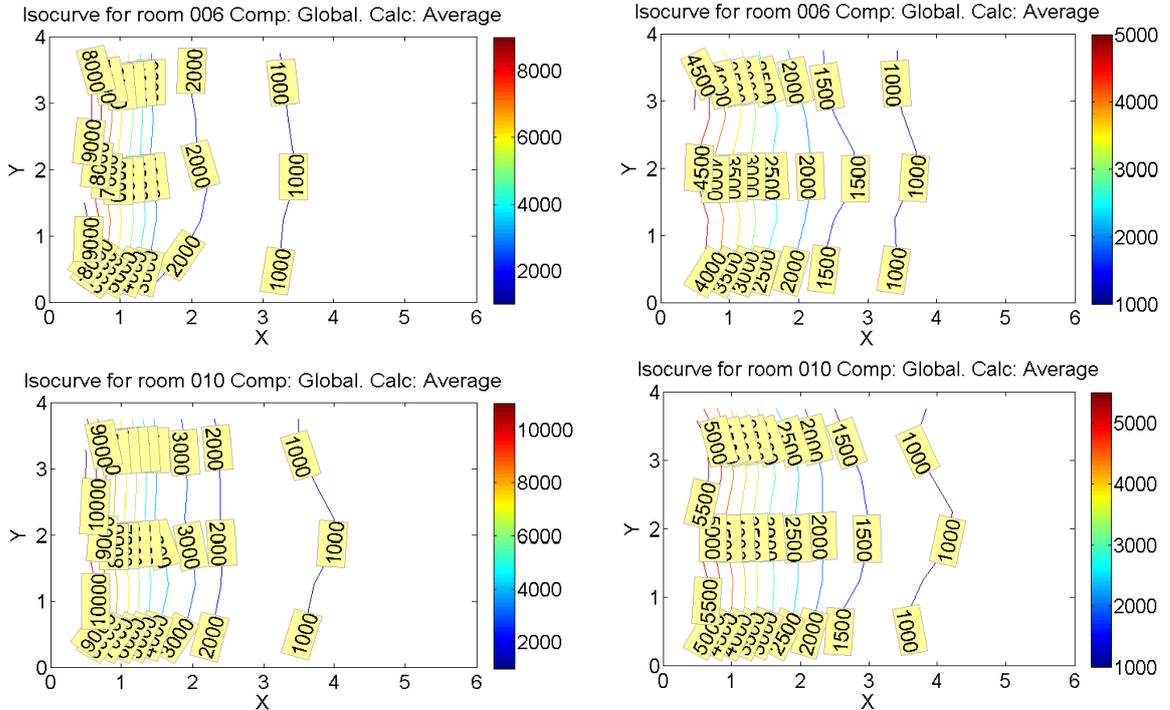
WONG, P.W.; SHIMODA, Y.; NONAKA, M.; INOUE, M.; MIZUNO, M. Semi-transparent PV: Thermal performance, power generation, daylight modelling and energy saving potential in a residential application. **Renewable Energy**, v. 33, issue 5, p. 1024-1036, 2008.

APÊNDICE A – Dados de Iluminância Média Anual (lx), obtidos por simulação.

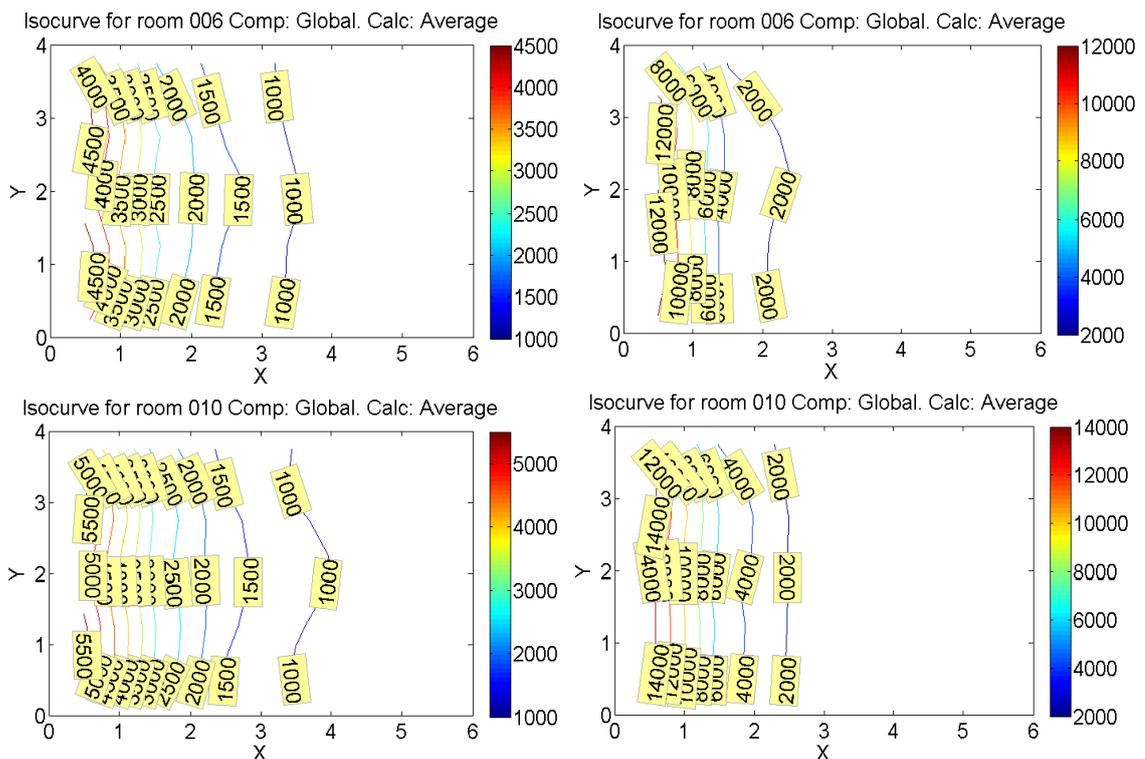
Parâmetros		Norte	Leste	Sul	Oeste
Sem Obstrução		3764,6	3470,2	1970,6	3745,8
Largura da Via	via 12 m	2745	2216	1551,6	2329,6
	via 14 m	2797,2	2258	1557,1	2365,1
	via 18 m	2943,3	2342,2	1593,8	2469,2
	via 29 m	3202,2	2673,6	1674,6	2883,8
Altura da Edificação Obstruidora	10 pav. – 10pav.	3069	2640,9	1572	2857,5
	10 pav. – 15 pav.	2910,2	2255,2	1545	2384,2
	10 pav. – 20 pav.	2745	2216	1551,6	2329,6
Refletância Especular	10 pav. – 10pav.	3084,3	2793,4	1488,4	2989,9
	10 pav. – 15 pav.	2934,7	2549,7	1510,8	2641,6
	10 pav. – 20 pav.	2801,8	2553,9	1667,6	2631
Afastamento Frontal	10 pav. – 10pav.	3069	2640,9	1572	2857,5
	15 pav. – 15 pav.	2983,7	2299,8	1544,5	2429,2
	20 pav. – 20 pav.	2888,6	2272	1552,5	2402,5
Afastamento Lateral	10 pav. – 10pav.	753,1	645	743,3	641,7
	15 pav. – 15 pav.	863	728,5	852,2	719,2
	20 pav. – 20 pav.	1035,6	840,7	973,8	825,2
Altura do Ambiente	1° andar	2888,6	2272	1552,5	2402,5
	10° andar	3291,5	2908,3	1694,1	3124,1
	20° andar	3852,7	3591,2	2129,4	3857,9

APÊNDICE B – Isocurvas dos valores de iluminância média anual no plano de trabalho, no período da manhã das 8h as 12h e o período da tarde das 13h as 16h.

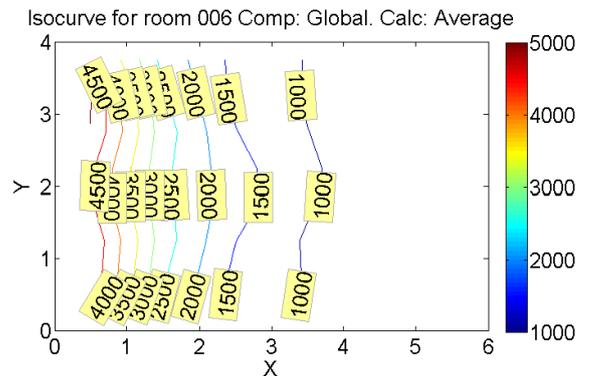
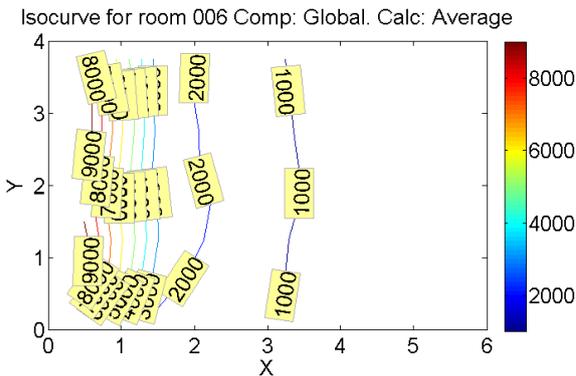
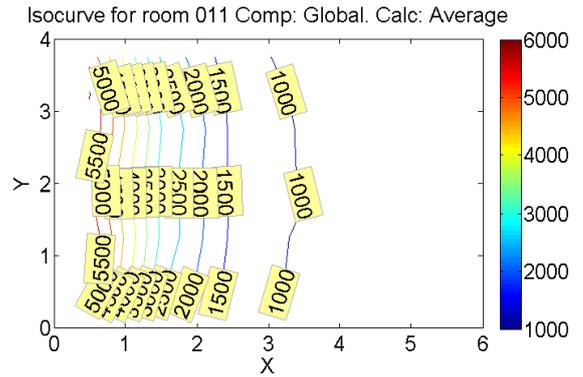
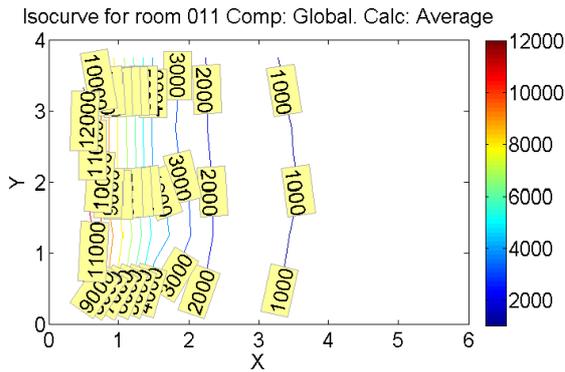
Parâmetro largura da via: Isocurvas de iluminância para os cenários com **largura de via de 12 m** (acima) e **29 m** (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a **leste**.



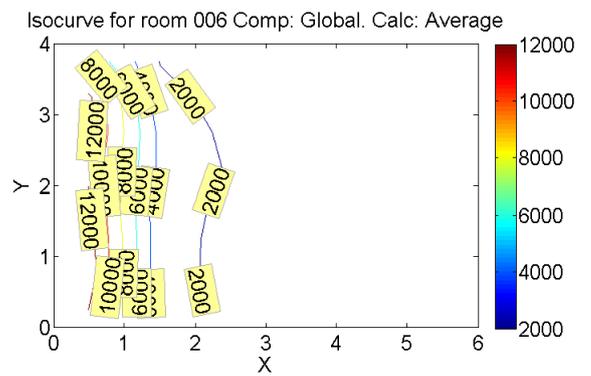
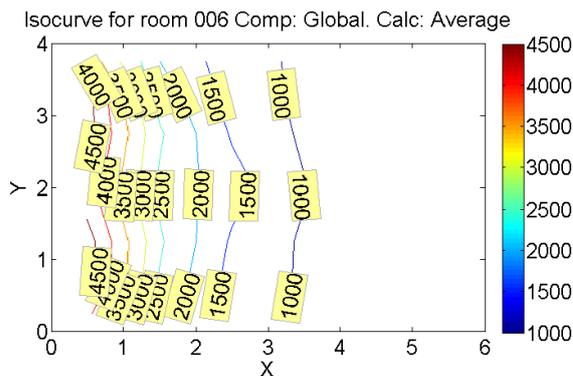
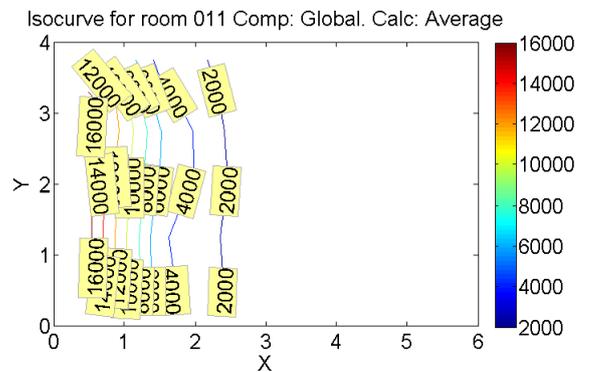
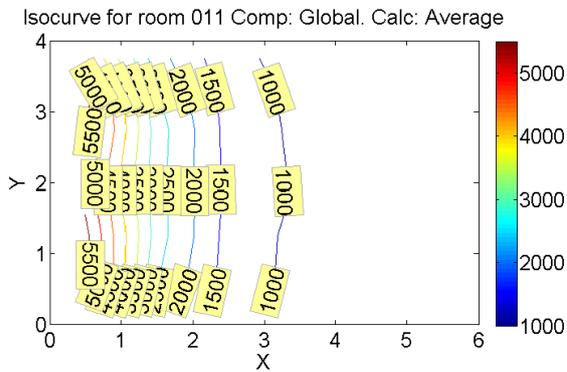
Parâmetro largura da via: Isocurvas de iluminância para os cenários com **largura de via de 12 m** (acima) e **29 m** (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a **oeste**.



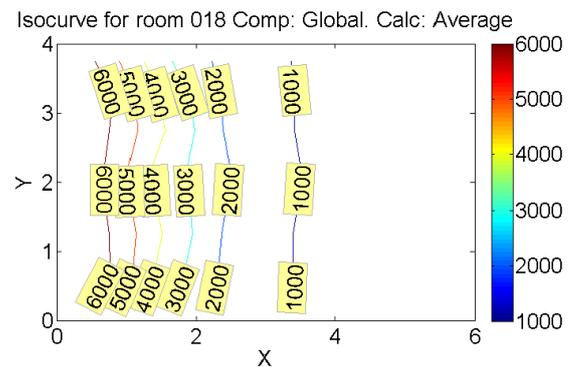
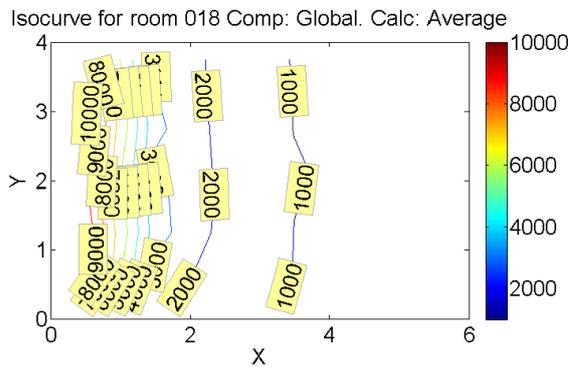
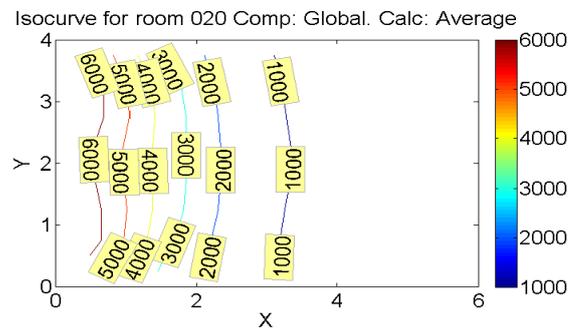
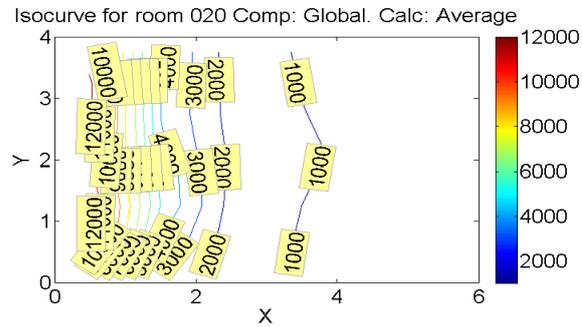
Parâmetro altura da obstrução: Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de **10 pavimentos** (acima) e **20 pavimentos** (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a **leste**.



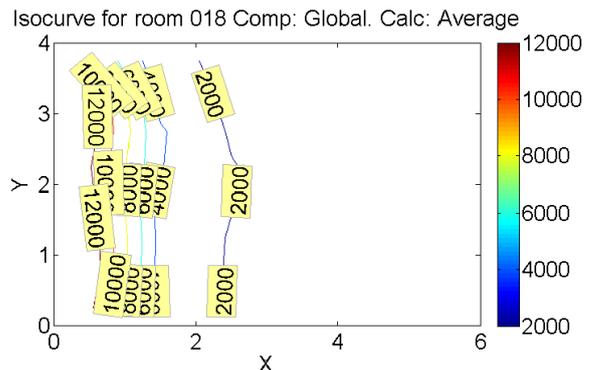
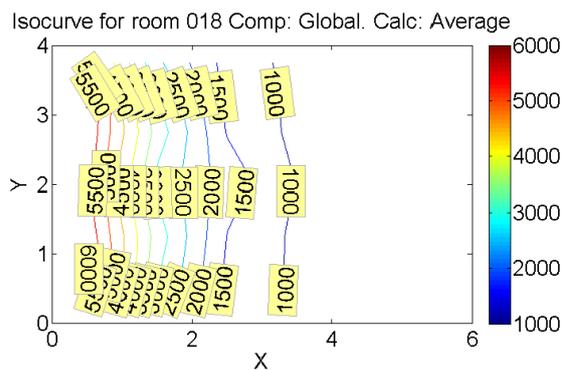
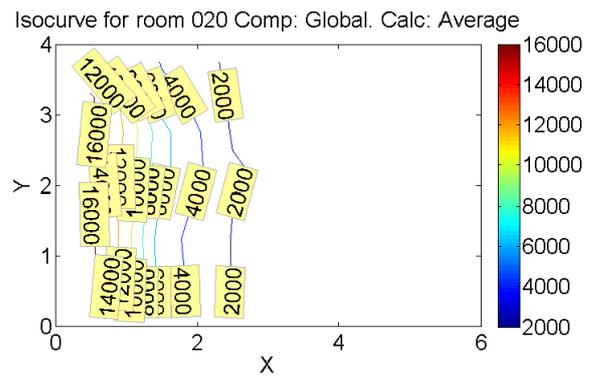
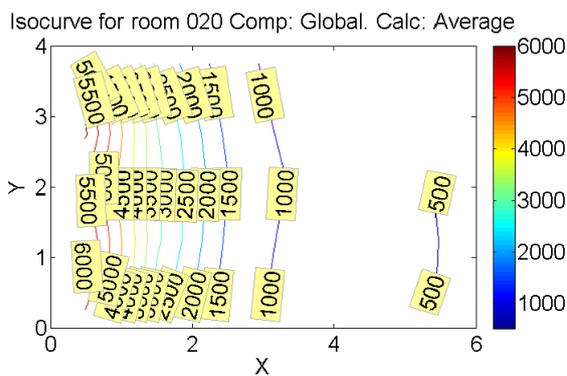
Parâmetro altura da obstrução: Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de **10 pavimentos** (acima) e **20 pavimentos** (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a **oeste**.



Parâmetro refletância das superfícies externas verticais: Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a leste.

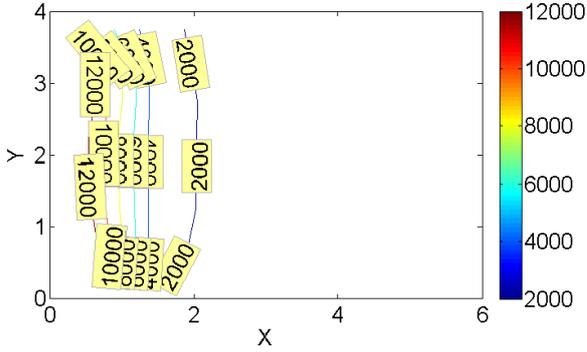


Parâmetro refletância das superfícies externas verticais: Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a oeste.

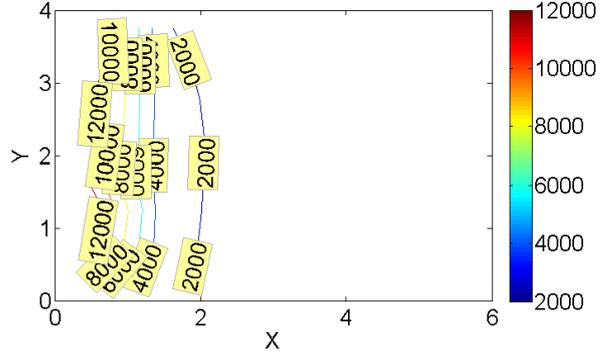


Parâmetro afastamento frontal: Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.

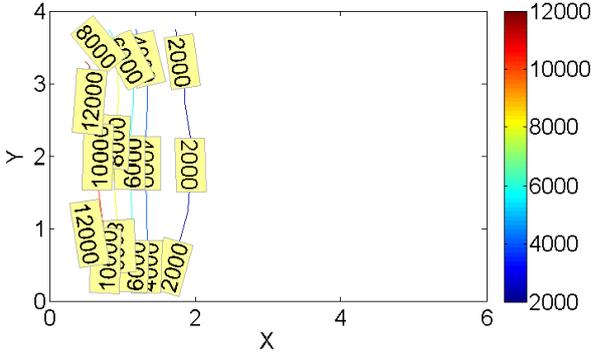
Isocurve for room 011 Comp: Global. Calc: Average



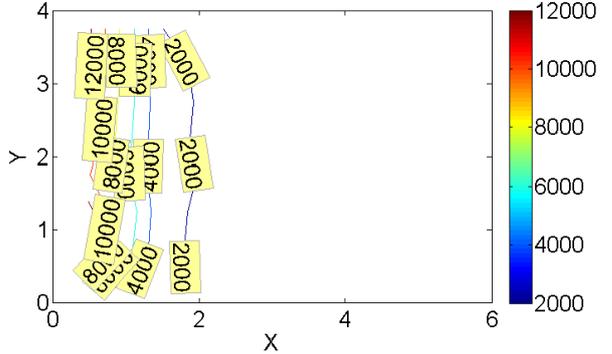
Isocurve for room 011 Comp: Global. Calc: Average



Isocurve for room 014 Comp: Global. Calc: Average

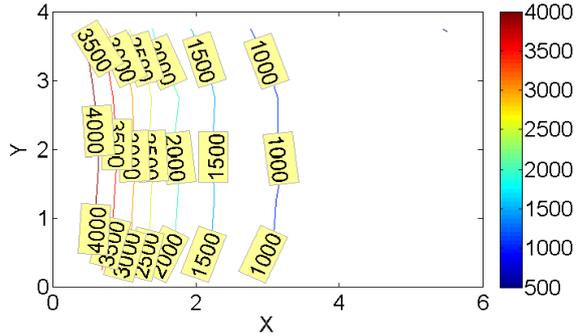


Isocurve for room 014 Comp: Global. Calc: Average

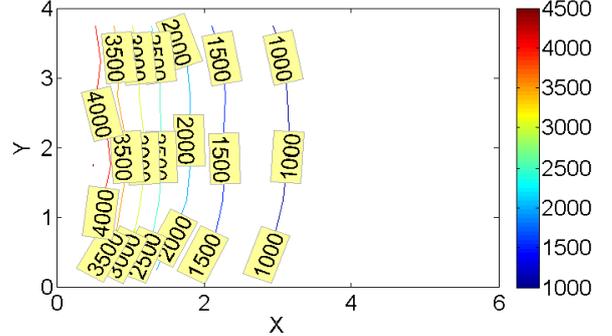


Parâmetro afastamento frontal: Isocurvas de iluminância para os cenários com obstruções de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.

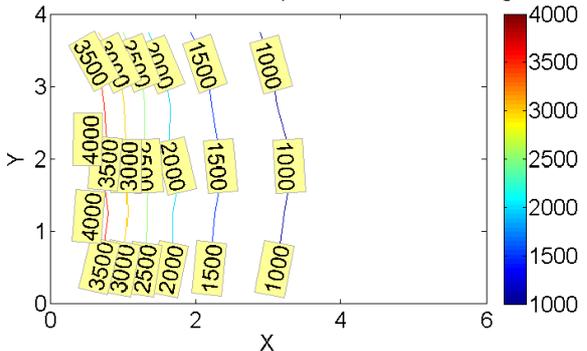
Isocurve for room 011 Comp: Global. Calc: Average



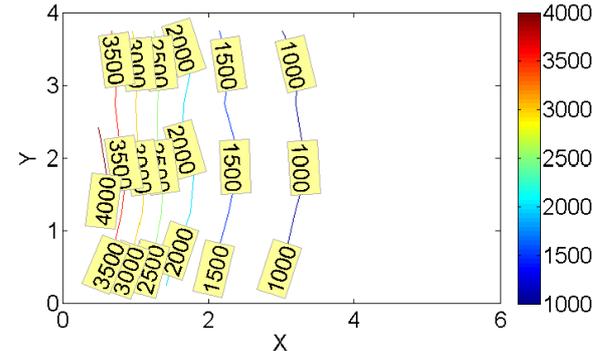
Isocurve for room 011 Comp: Global. Calc: Average



Isocurve for room 014 Comp: Global. Calc: Average

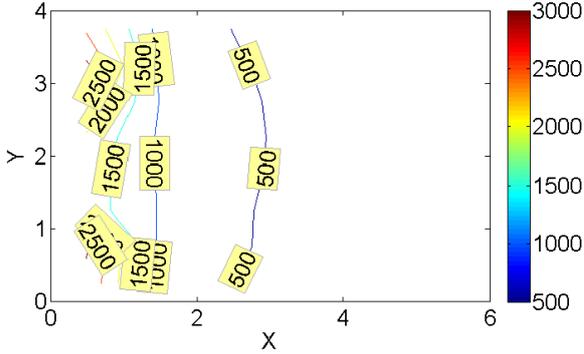


Isocurve for room 014 Comp: Global. Calc: Average

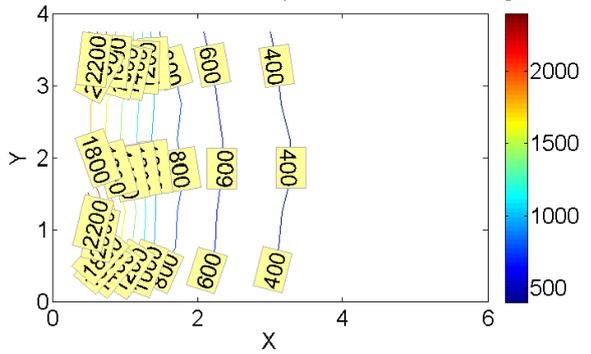


Parâmetro afastamento lateral: Isocurvas de iluminância para os cenários com ocupações de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a norte.

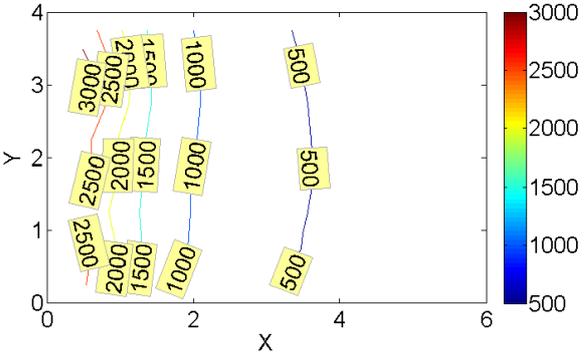
Isocurve for room 021 Comp: Global. Calc: Average



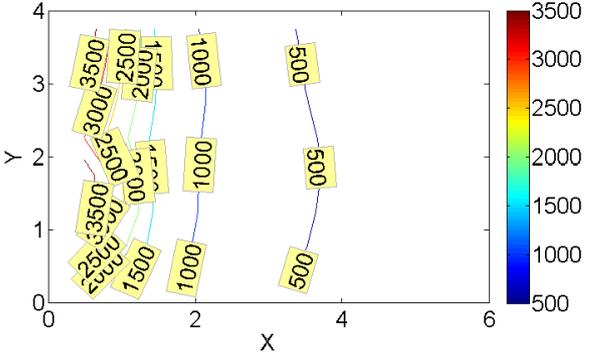
Isocurve for room 021 Comp: Global. Calc: Average



Isocurve for room 023 Comp: Global. Calc: Average

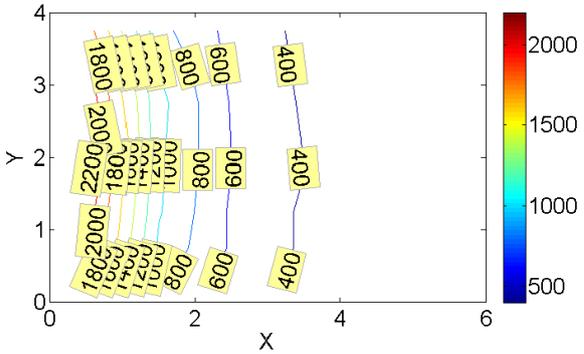


Isocurve for room 023 Comp: Global. Calc: Average

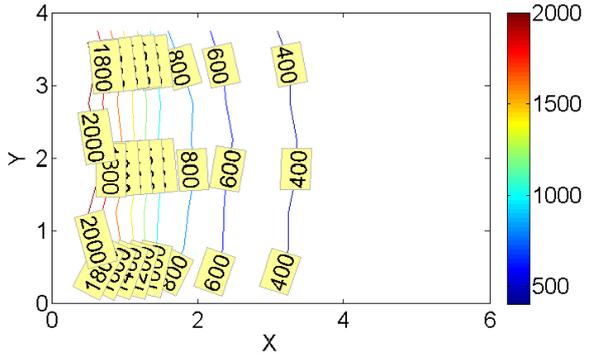


Parâmetro afastamento lateral: Isocurvas de iluminância para os cenários com ocupações de 10 pavimentos (acima) e 20 pavimentos (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a sul.

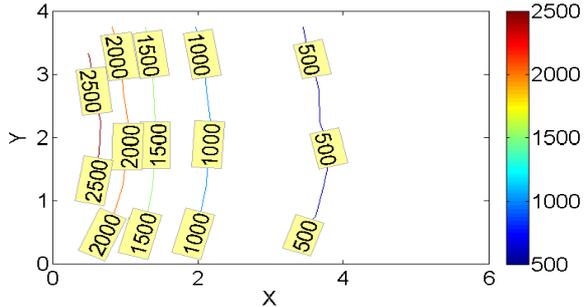
Isocurve for room 021 Comp: Global. Calc: Average



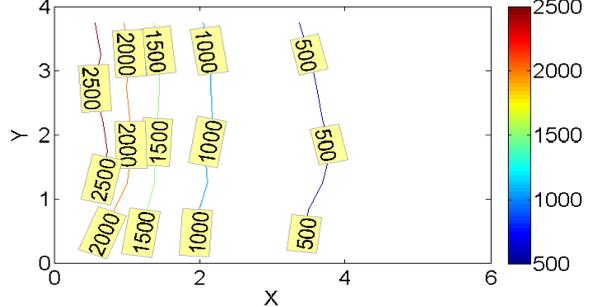
Isocurve for room 021 Comp: Global. Calc: Average



Isocurve for room 023 Comp: Global. Calc: Average

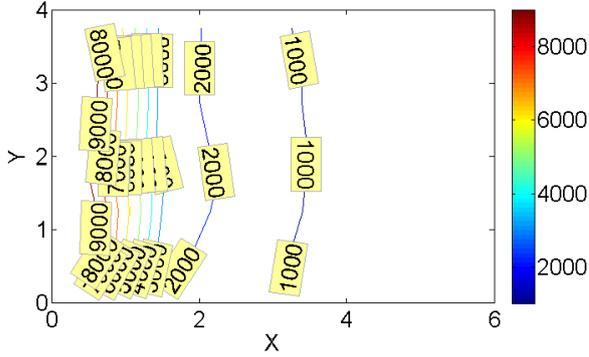


Isocurve for room 023 Comp: Global. Calc: Average

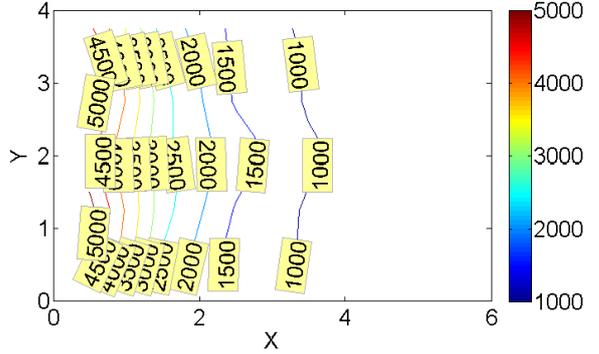


Parâmetro altura do ambiente: Isocurvas de iluminância para os cenários com o ambiente no 1º andar (acima) e no 20º andar (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a leste.

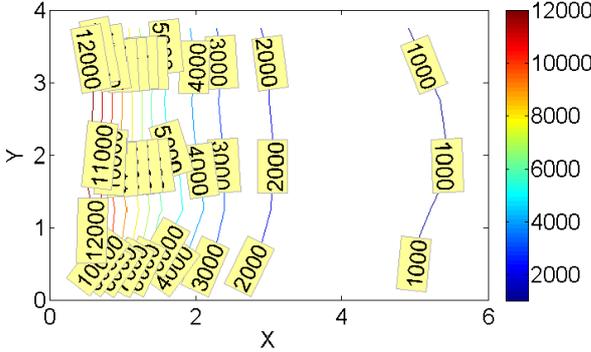
Isocurve for room 014 Comp: Global. Calc: Average



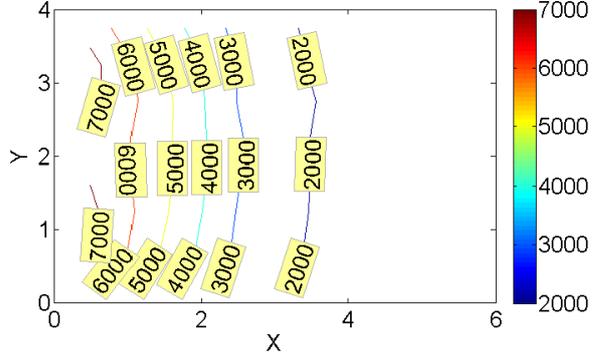
Isocurve for room 014 Comp: Global. Calc: Average



Isocurve for room 025 Comp: Global. Calc: Average

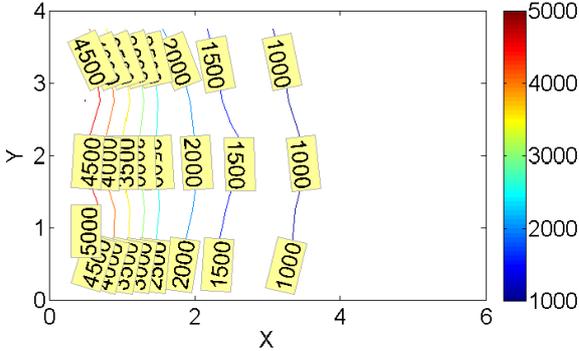


Isocurve for room 025 Comp: Global. Calc: Average

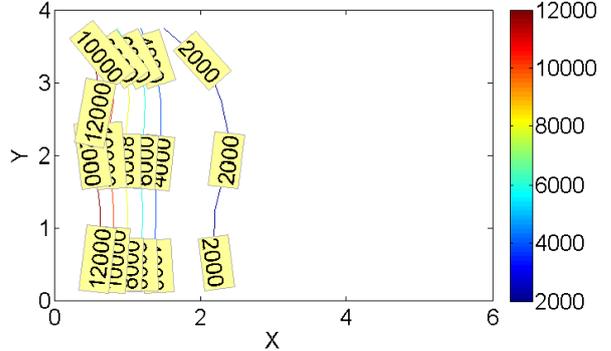


Parâmetro altura do ambiente: Isocurvas de iluminância para os cenários com o ambiente no 1º andar (acima) e no 20º andar (abaixo), manhã 8h-12h (esquerda) e tarde 13h-16h (direita), janela orientada a oeste.

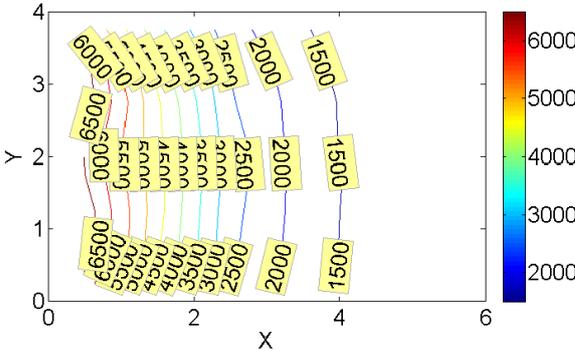
Isocurve for room 014 Comp: Global. Calc: Average



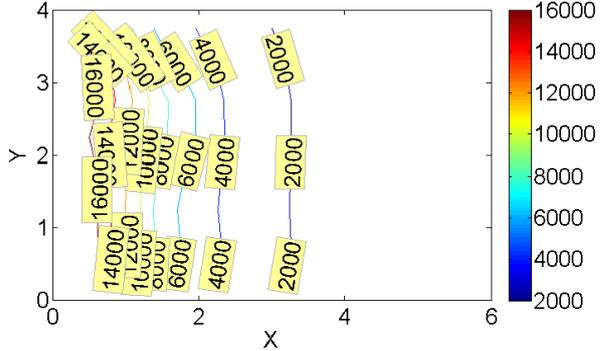
Isocurve for room 014 Comp: Global. Calc: Average



Isocurve for room 025 Comp: Global. Calc: Average

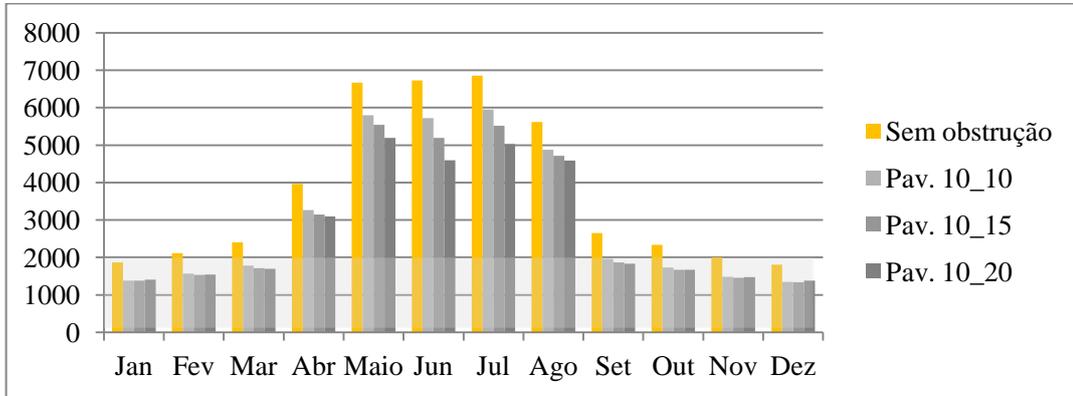


Isocurve for room 025 Comp: Global. Calc: Average

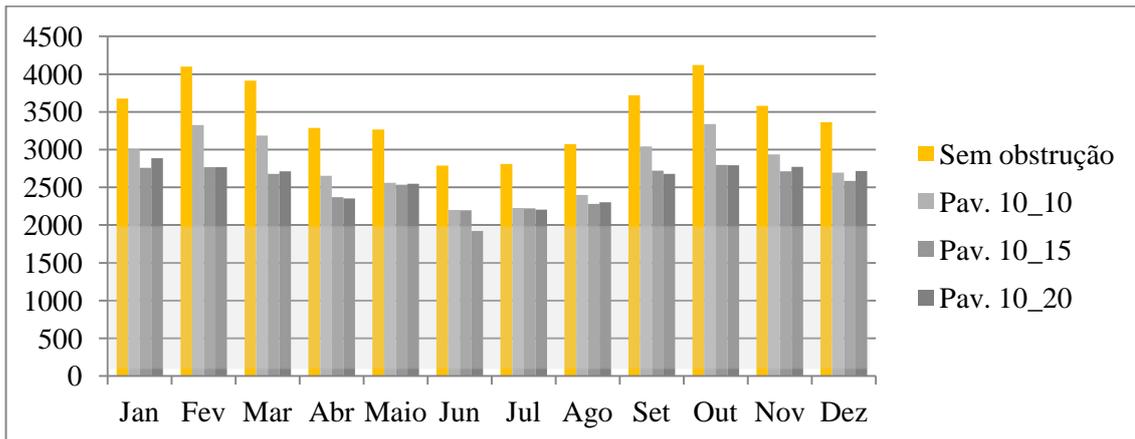


APÊNDICE C – Gráficos dos valores de iluminância média mensal, relacionados ao parâmetro refletância superfícies externas verticais.

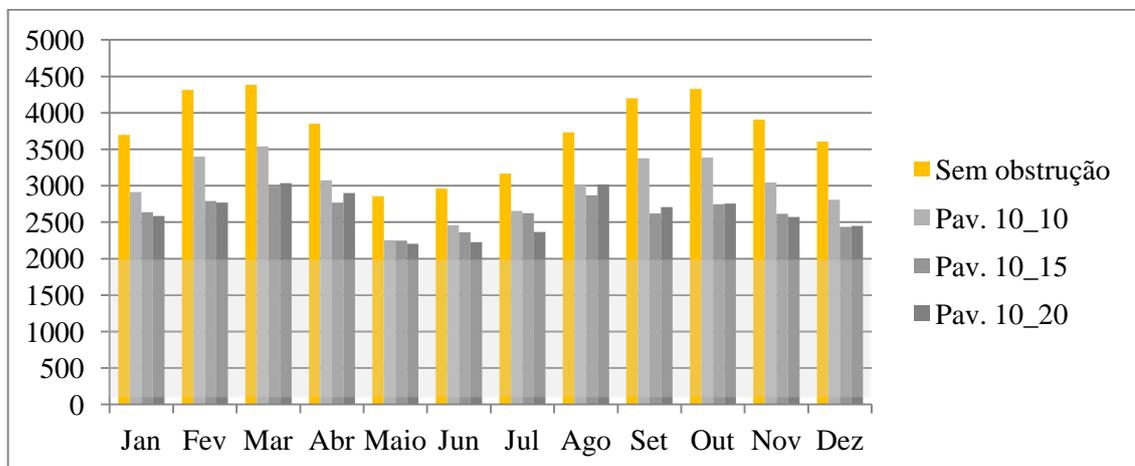
Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a **norte** das 8h às 16h.



Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a **leste** das 8h às 16h.

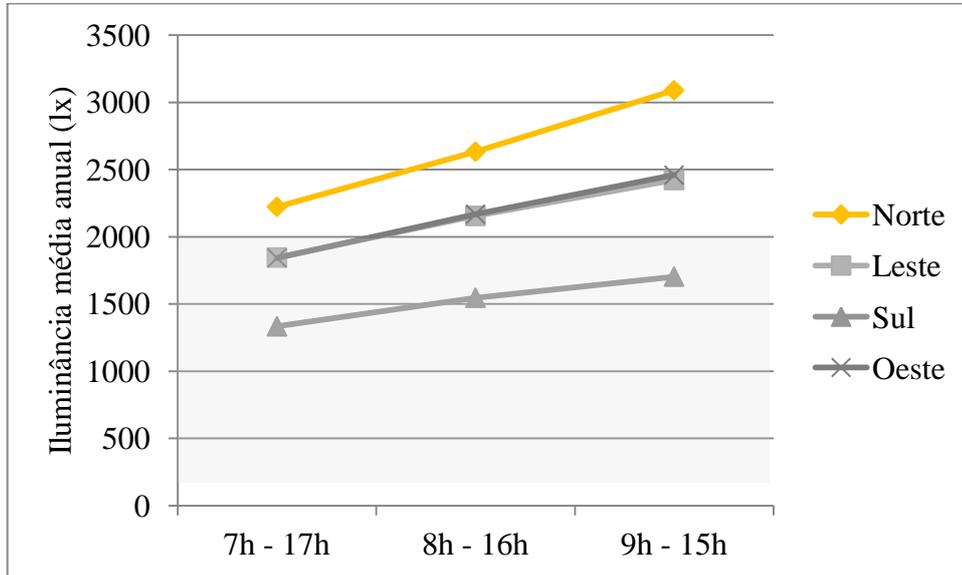


Iluminância média interna mensal (EMM) considerando a janela orientada a **oeste** das 8h às 16h.



APÊNDICE D – Os resultados de simulações do cenário base no intervalo de horas de 7h as 17h, 8h as 16h e 9h as 15h. Valores de EMA e de porcentagem das faixas da IULN.

Iluminância média anual (EMA) no interior do ambiente em função do intervalo de horas.



(a) Intervalo de 100 a 500 lx, (b) intervalo de 500 a 2.000 lx e (c) intervalo acima de 2.000 lx. Percentuais de ocorrência das iluminâncias nos intervalos da IULN.

