



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

BEATRIZ MORAES DE CAMPOS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE ELEMENTOS VAZADOS NO  
APROVEITAMENTO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM ABERTURAS VERTICAIS.**

BELÉM

2020

BEATRIZ MORAES DE CAMPOS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE ELEMENTOS VAZADOS NO  
APROVEITAMENTO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM ABERTURAS VERTICAIS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Elcione Maria Lobato de Moraes.

BELÉM

2020

BEATRIZ MORAES DE CAMPOS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE ELEMENTOS VAZADOS NO  
APROVEITAMENTO DE ILUMINAÇÃO NATURAL EM ABERTURAS VERTICAIS.**

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Elcione Maria Lobato de Moraes.  
Orientadora - FAU/UFPA

---

Prof<sup>a</sup>. Me. Juliana Vasconcelos Moreira  
FAU/UFPA

---

Prof<sup>a</sup>. Me. Marcela Marçal Maciel Monteiro  
CURSO AU/UNIFESSPA

Defesa em: 03 de Março de 2020.

Aprovado em: \_\_\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

Dedico este trabalho a Elcione.  
Tia, obrigada por ser uma de minhas  
maiores inspirações. Eu, que sempre  
disse que queria ser como você quando  
crescesse, agora estou um passo mais  
perto.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre me disponibilizaram tudo que eu precisei, por jamais medirem esforços para me proporcionar uma educação de qualidade, pelo apoio, companhia e carinho nos momentos de dificuldade e conquistas ao longo desses anos de formação. Pelo incentivo ao longo de toda a vida, e por nunca terem me feito desistir mesmo quando eu já estava disposta a fazê-lo.

À Universidade Federal do Pará, bem como a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e seu corpo docente, por todo o conhecimento adquirido durante os anos de curso.

Aos colegas do Laboratório de Acústica, LAAC, pela parceria ao longo dos anos, em especial Lícia e Nickolas, por cederem dados que ajudaram na realização desta pesquisa.

Aos amigos e colegas que a universidade me deu, que me ajudaram de tantas maneiras durante esses cinco anos. A Athena, pela parceria nos primeiros semestres, sem a qual talvez eu tivesse largado o curso no meio da disciplina de Projeto I. Ao Luis, por ter me tomado como amiga desde o primeiro dia e me acompanhado em tantos trabalhos. A Ana Paula, que no momento mais difícil do curso foi minha maior parceira de projeto. A Larissa, pela paciência e delicadeza, mesmo quando fomos motivos de estresse.

Ao Sávio, pelo suporte e companheirismo no último ano, e mesmo sem entender sobre o assunto, esteve do meu lado enquanto eu me desesperava para organizar esta pesquisa.

A Mayanne, por tudo. Exceto por ter me esquecido no R.U. no dia que me conheceu.

E finalmente à minha orientadora, mentora, amiga e tia, Elcione Moraes, pelas imensuráveis formas de me guiar para que eu pudesse chegar até esse momento. Por ter me ensinado e esclarecido tanto sobre a arquitetura nos últimos cinco anos, e ter me inspirado e influenciado sobre inúmeros outros assuntos nos últimos vinte e dois anos. Por ser, provavelmente, a maior culpada de eu ter entrado neste curso, e certamente a maior culpada de eu o estar concluindo.

## RESUMO

A pesquisa apresentada avaliou comparativamente o desempenho luminoso de três diferentes desenhos de elementos vazados criados pela autora, denominados “quadrado”, “hexágono” e “escama”. Os resultados foram obtidos por meio de simulação computacional realizada com o *software DIALux evo*, aplicadas a duas salas de aula do edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, na cidade de Belém, com orientações a norte e a sul. Após a validação dos modelos, a análise comparativa foi realizada em dois níveis: o primeiro deles referiu-se às análises de cada elemento proposto individualmente comparados à situação original das salas, com presença de venezianas de madeira, sob os parâmetros: valores de iluminância no plano de trabalho, distribuição e alcance da luz nos ambientes; o segundo nível de avaliação consistiu na análise dos desempenhos dos três elementos entre si, sob os mesmos parâmetros. Foi observado que os três casos propostos proporcionaram um aumento significativo da iluminância média no nível do plano de trabalho em relação às venezianas originais, assim como um maior alcance da luz nas salas. No entanto, as três propostas obtiveram um desempenho inferior que a situação original sob o aspecto da distribuição da luz. Entre os três, demonstrou-se que o elemento “hexágono” alcançou o melhor desempenho luminoso nas situações analisadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Iluminação Natural; Elementos Vazados; Conforto Luminoso; Simulações Computacionais

## ABSTRACT

The research presented comparatively evaluated the luminous performance of three different drawings of hollow elements designed by the author, called “square”, “hexagon” and “scale”. The results were obtained through computer simulation performed with the software *DIALux evo*, applied to two classrooms in the building of the Faculty of Architecture and Urbanism of the Federal University of Pará, in the city of Belém, with orientations to the north and south. After validating the models, the comparative analysis was carried out on two levels: the first one referred to the analysis of each proposed element individually compared to the original situation of the rooms, with the presence of wooden shutters, under the parameters: illuminance values in the work plan, distribution and reach of light in the environments; the second level of assessment consisted of analyzing the performances of the three elements with each other, under the same parameters. It was observed that the three proposed cases provided a significant increase in the average illuminance at the work plan level in relation to the original shutters, as well as a greater range of light in the rooms. However, the three proposals performed worse than the original situation in terms of light distribution. Among the three, it was demonstrated that the element “hexagon” achieved the best luminous performance in the analyzed situations.

**KEYWORDS:** Natural lighting; Hollow Elements; Luminous Comfort; Computational Simulations.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de muxarabis na arquitetura islâmica. ....	20
Figura 2: Placas inspiradas nos muxarabis, na fachada do Instituto Mundo Árabe, em Paris. ....	20
Figura 3: Exemplo de aplicação de cobogós. ....	21
Figura 4: Casa da Cascata, de Frank Lloyd Wright. ....	22
Figura 5: Uso de brises soleil no projeto da High Court de Chandigarh, na Índia. ....	22
Figura 6: Zoneamento Bioclimático Brasileiro. ....	24
Figura 7: Carta bioclimática da cidade de Belém. ....	25
Figura 8: Carta Solar da cidade de Belém. ....	27
Figura 9: Céu Encoberto Belém. Foto feita em 20/01/2015 às 15:28h. ....	32
Figura 10: Céu Claro Belém. Foto feita em 22/01/2015 às 13:29h ....	32
Figura 11: Céu Parcialmente Encoberto Belém foto feita em 20/01/2015 às 16:45h	32
Figura 12: Representação da Iluminância. ....	34
Figura 13: Representação da Luminância. ....	34
Figura 14: imagens das configurações do sistema SMV aberto (à esquerda) e fechado (à direita). ....	39
Figura 15: imagens das geometrias inicialmente propostas para os elementos responsivos. ....	40
Figura 16: Testes de movimentação de partes do modelo escolhido para o protótipo final. ....	41
Figura 17: Imagens de testes do protótipo final elaborado pelos autores. ....	41
Figura 18: Representação das três situações definidas na pesquisa. ....	42
Figura 19: Dimensões dos modelos estudados e as orientações estudadas. ....	43
Figura 20: Média de Iluminância média (lux) obtida nas simulações. ....	44
Figura 21: Localização da FAU no Campus Profissional da UFPA. ....	45
Figura 22: Trajetória do sol e predominância de ventos na FAU. ....	46
Figura 23: Estudos para o prédio do Departamento de Arquitetura - elevações. ....	46
Figura 24: Fachada do prédio da FAU. ....	48
Figura 25: Hall do prédio da FAU. ....	48
Figura 26: Jardim interno do prédio da FAU. ....	48

Figura 27: Planta do segundo pavimento do prédio da FAU, com a sala objeto de estudo identificada. ....	49
Figura 28: Parede interna da Sala Sul. ....	50
Figura 29: Parede externa da Sala Sul. ....	50
Figura 30: Carta solar da fachada externa da Sala Norte.....	51
Figura 31: Carta solar da fachada externa da Sala Sul. ....	51
Figura 32: Rosa dos Ventos quanto à frequência de ocorrência para a Cidade de Belém.....	52
Figura 33: Rosa dos Ventos quanto à velocidade predominante por direção para a Cidade de Belém.....	52
Figura 34: Paredes existentes na FAU com as venezianas originais. ....	54
Figura 35: Paredes existentes na FAU com aplicação do elemento “quadrado”.....	55
Figura 36: Paredes existentes na FAU com aplicação do elemento "hexágono".....	56
Figura 37: Paredes existentes na FAU com aplicação do elemento "escama". ....	57
Figura 38: Projeções ortogonais do elemento "quadrado".....	58
Figura 39: Demonstração do mecanismo de fechamento do elemento "quadrado"..	58
Figura 40: Projeções ortogonais do elemento "hexágono". ....	59
Figura 41: Demonstração do mecanismo de fechamento do elemento "hexágono".	59
Figura 42: Projeções ortogonais do elemento “escama”. ....	60
Figura 43: Demonstração do mecanismo de fechamento do elemento "escama". ...	60
Figura 44: Dimensões das salas analisadas em planta.....	61
Figura 45: Vista do modelo gerado no software DIALux evo.....	62
Figura 46: Posicionamento dos pontos de medição na sala de aula. ....	63
Figura 47: Gráfico de comparação de iluminâncias entre medições e simulações para a Sala Norte. ....	65
Figura 48: Gráfico de comparação de iluminâncias entre medições e simulações para a Sala Sul.....	65
Figura 49: Gráfico de comparação entre Emín, Eméd e Emáx no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "quadrado", para a Sala Norte. ....	69
Figura 50: Gráfico de comparação entre Emín, Eméd e Emáx no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "quadrado", para a Sala Sul.....	69

Figura 51: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Norte com o elemento “veneziana” (acima) e “quadrado” (abaixo). .....	71
Figura 52: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento “veneziana” (acima) e “quadrado” (abaixo). .....	72
Figura 53: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Norte com os elementos “veneziana” (acima) e “quadrado” (abaixo). .....	74
Figura 54: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Sul com os elementos “veneziana” (acima) e “quadrado” (abaixo). .....	75
Figura 55: Gráfico de comparação entre Emín, Eméd e Emáx no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "hexágono", para a Sala Norte. ....	77
Figura 56: Gráfico de comparação entre Emín, Eméd e Emáx no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "hexágono", para a Sala Sul.....	77
Figura 57: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Norte com o elemento .....	79
Figura 58: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento .....	80
Figura 59: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Norte com os elementos “veneziana” (acima) e “hexágono” (abaixo).....	81
Figura 60: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Sul com os elementos “veneziana” (acima) e “hexágono” (abaixo).....	82
Figura 61: Gráfico de comparação entre Emín, Eméd e Emáx no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "escama", para a Sala Norte. ....	84
Figura 62: Gráfico de comparação entre Emín, Eméd e Emáx no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "escama", para a Sala Sul.....	84
Figura 63: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Norte com o elemento “veneziana” (acima) e “escama” (abaixo).....	86
Figura 64: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento “veneziana” (acima) e “escama” (abaixo).....	87
Figura 65: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Norte com os elementos “veneziana” (acima) e “escama” (abaixo).....	88
Figura 66: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Sul com os elementos “veneziana” (acima) e “escama” (abaixo).....	89

Figura 67: Gráfico de comparação entre Emín, Eméd e Emáx no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "quadrado", "hexágono" e "escama", para a Sala Norte. ....	90
Figura 68: Gráfico de comparação entre Emín, Eméd e Emáx no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "quadrado", "hexágono" e "escama", para a Sala Sul.....	90
Figura 69: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento "quadrado" (acima), "hexágono" (ao centro) e "escama" (abaixo). ....	93
Figura 70: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento "quadrado" (acima), "hexágono" (ao centro) e "escama" (abaixo). ....	94
Figura 71: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Norte com os elementos "quadrado" (acima), "hexágono" (ao centro) e "escama" (abaixo). ....	96
Figura 72: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Sul com os elementos "quadrado" (acima), "hexágono" (ao centro) e "escama" (abaixo). ....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados em porcentagem de horas ao longo do ano, gerado pelo Software Analysis BIO a partir da carta bioclimática da cidade de Belém. ....	26
Tabela 2: Área iluminante na aplicação de cada modelo nas paredes presentes na FAU.....	53
Tabela 3: Índices de refletância dos materiais no modelo. ....	61
Tabela 4: Datas e horários das medições. ....	63
Tabela 5: Datas e horários das simulações.....	64
Tabela 6: Iluminâncias mínimas, máximas e médias (em lux) no nível do Plano de Trabalho obtidas com o modelo "quadrado". ....	68
Tabela 7: Coeficientes de variação: elementos "veneziana" e "quadrado" para as salas Norte e Sul. ....	70
Tabela 8: Iluminâncias mínimas, máximas e médias (em lux) no nível do Plano de Trabalho obtidas com o modelo "hexágono". ....	76
Tabela 9: Coeficientes de variação: elementos "veneziana" e "hexágono" para as salas Norte e Sul. ....	78
Tabela 10: Iluminâncias mínimas, máximas e médias (em lux) no nível do Plano de Trabalho obtidas com o modelo "escama".....	83
Tabela 11: Coeficientes de variação: elementos "veneziana" e "escama" para as salas Norte e Sul. ....	85
Tabela 12: Coeficientes de variação: elementos "quadrado", "hexágono" e "escama" para as salas Norte e Sul. ....	92

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>17</b>
1.1.1	Objetivo geral .....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
<b>1.2</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>17</b>
1.2.1	Elaboração do TCC I .....	17
1.2.2	Elaboração do TCC II .....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Uma introdução aos elementos de proteção solar</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Influência climática na arquitetura</b> .....	<b>23</b>
2.2.1	Clima na cidade de Belém .....	25
<b>2.3</b>	<b>Variáveis do conforto térmico</b> .....	<b>27</b>
2.3.1	A radiação solar como fonte de carga térmica .....	28
2.3.2	A ventilação cruzada como estratégia de dissipação de calor .....	28
<b>2.4</b>	<b>Iluminação natural</b> .....	<b>29</b>
<b>2.5</b>	<b>Conforto visual</b> .....	<b>33</b>
2.5.1	Nível de iluminação .....	34
2.5.2	Contraste e ofuscamento.....	35
<b>2.6</b>	<b>Métodos de avaliação de iluminação natural</b> .....	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDOS DE CASO</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1</b>	<b>Muxarabi de forma variável</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2</b>	<b>Elementos de proteção de fachadas responsivos</b> .....	<b>40</b>
<b>3.3</b>	<b>Análise de desempenho lumínico utilizando cobogós</b> .....	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Breve histórico do prédio da fau ufpa</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização das salas a serem estudadas</b> .....	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO</b> .....	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Definição dos elementos vazados</b> .....	<b>53</b>
<b>5.2</b>	<b>Modelagem das salas no software DIALux evo</b> .....	<b>60</b>
<b>5.3</b>	<b>Aferição das simulações</b> .....	<b>62</b>
<b>5.4</b>	<b>Parâmetros de avaliação e análise das simulações</b> .....	<b>66</b>
5.4.1	Iluminância no plano de trabalho .....	67
5.4.2	Coeficiente de variação .....	67
5.4.3	Direcionamento da luz .....	67
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>68</b>
<b>6.1</b>	<b>Análise do desempenho luminoso do elemento “quadrado”</b> .....	<b>68</b>
6.1.1	Iluminância no Plano de Trabalho.....	68
6.1.2	Distribuição da luz no plano de trabalho .....	70

6.1.3	Alcance da Iluminação.....	73
<b>6.2</b>	<b>Análise do desempenho luminoso do elemento “hexágono” .....</b>	<b>76</b>
6.2.1	Iluminância no Plano de Trabalho.....	76
6.2.2	Distribuição da luz no plano de trabalho .....	78
6.2.3	Alcance da Iluminação.....	81
<b>6.3</b>	<b>Análise do desempenho luminoso do elemento “escama” .....</b>	<b>83</b>
6.3.1	Iluminância no Plano de Trabalho.....	83
6.3.2	Distribuição da luz no plano de trabalho .....	85
6.3.3	Alcance da Iluminação.....	88
<b>6.4</b>	<b>Comparação do desempenho luminoso dos três elementos propostos.....</b>	<b>90</b>
6.4.1	Iluminância no Plano de Trabalho.....	90
6.4.2	Distribuição da luz no plano de trabalho .....	92
6.4.3	Alcance da iluminação.....	95
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>		<b>102</b>
<b>APÊNDICE A – Dados primários das medições de iluminância (em lx) no plano de trabalho para as Salas Norte e Sul da FAU UFPA. ....</b>		<b>105</b>
<b>APÊNDICE B – Dados primários de iluminância (em lx) no plano de trabalho obtidos com o elemento “veneziana” para as Salas Norte e Sul da FAU UFPA. ....</b>		<b>106</b>
<b>APÊNDICE C – Dados primários de iluminância (em lx) no plano de trabalho obtidos com o elemento “quadrado” para as Salas Norte e Sul da FAU UFPA.....</b>		<b>107</b>
<b>APÊNDICE D – Dados primários de iluminância (em lx) no plano de trabalho obtidos com o elemento “hexágono” para as Salas Norte e Sul da FAU UFPA. ....</b>		<b>108</b>
<b>APÊNDICE E – Dados primários de iluminância (em lx) no plano de trabalho obtidos com o elemento “escama” para as Salas Norte e Sul da FAU UFPA.....</b>		<b>109</b>
<b>APÊNDICE F – Maquete eletrônica do prédio da FAU UFPA, modelada no software SketchUp, versão 2018.....</b>		<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Não se pode falar de arquitetura sem falar também do papel da iluminação nos espaços projetados. A iluminação natural é um recurso que apesar de possuir um papel fundamental na criação de espaços que favoreçam a saúde e o bem-estar dos usuários e ser gratuito, nem sempre é utilizado em todo seu potencial. Isso pode acarretar no aumento do consumo de energia, o que nem sempre é percebido como uma consequência ruim pelos projetistas.

A relação entre o desenvolvimento econômico de um país e o aumento do consumo de energia é observada desde a Revolução Industrial. Este aumento reflete tanto o poder econômico da população quanto o crescimento do ritmo das atividades industriais, de comércio e serviços, sendo um dos principais motivos do acentuado crescimento do consumo energético mundial nos últimos anos (BRASIL, 2011).

Apesar dos países desenvolvidos serem historicamente os maiores consumidores de energia, eles têm recuado sua participação no total mundial, enquanto os países em desenvolvimento, como o Brasil, têm tido um incremento considerável nesse índice. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), na publicação “Atlas da Energia Elétrica no Brasil” (2008) essa tendência se dá, além de fatores como economia relativamente estável e industrialização consolidada nos países desenvolvidos, pela crescente frequência do uso de equipamentos e estratégias de eficiência energética por eles. É necessário, portanto, desassociar a relação entre o constante aumento do consumo energético e o crescimento econômico, tendo em vista que essa tendência pode causar o esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia (BRASIL, 2008).

A eficiência energética é, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014), “um atributo inerente à edificação, representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários, com baixo consumo de energia”. O arquiteto se torna, então, um potencial agente para a execução de edifícios que atendem não somente à funcionalidade dos espaços e ao conforto do usuário, mas também ao uso racional da energia.

De acordo com os dados do Ministério de Minas e Energia, no Plano Nacional de Eficiência Energética (MME, 2011), no Brasil, o setor de edificações está entre os maiores consumidores de energia elétrica, e estima-se que a implementação de ações de eficiência energética em sistemas de iluminação, ar condicionado e intervenções

arquitetônicas na envoltória pode reduzir em até 30% o consumo elétrico em edificações existentes e 50% em edificações novas.

É necessário, porém, levar em conta, na implantação de estratégias que visam a eficiência energética de edifícios, o contexto geográfico e o potencial da região na qual ele será implantado. As características climáticas e ambientais de cada região interferem

em quais e como devem ser estas estratégias. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014):

É importante ao arquiteto integrar o uso de sistemas naturais e artificiais, ponderando os limites de exequibilidade e a relação custo/benefício de cada solução. Se as estratégias naturais forem as mais adequadas, deve-se conhecer, primeiramente, a Bioclimatologia, que aplica os estudos do clima (climatologia) às relações com os seres vivos (OLGYAY, 1968 apud Lamberts, Dutra e Pereira, 2014).

Silva (2015) afirma que as regiões próximas a latitude zero se destacam dentro do aspecto de oferta de radiação solar, tanto em intensidade, quanto em distribuição de horas de insolação ao longo do ano. Portanto, cidades como Belém, capital do estado do Pará, com latitude de aproximadamente 1.47° Sul, possuem um grande potencial de iluminação natural possível de ser utilizado em estratégias de eficiência energética. É preciso cuidado com a utilização dessa capacidade, no entanto, por conta do ganho térmico proporcionado pela radiação direta do sol nas aberturas, além do brilho excessivo que pode gerar ofuscamento do usuário.

Os elementos de obstrução solar, tais como os elementos vazados (ou “cobogós”), são bastantes eficazes no controle da radiação solar direta e ofuscamentos, e, ainda, viabilizam a permeabilidade da iluminação e ventilação naturais na edificação. Eles são componentes eficazes e, como afirma Araújo (2007), com baixo custo e fácil fabricação, passíveis de serem introduzidos em projetos que buscam a utilização de energia elétrica de forma racional e, além disso, proporcionam um forte caráter espacial e autêntica consciência regional.

Contudo, Kremer (2002) afirma que apesar de diversos atributos positivos desses sistemas, eles podem apresentar resultados desfavoráveis ao desempenho da edificação, influenciando no comportamento da iluminação natural de modo a reduzi-la consideravelmente. Logo, torna-se importante a realização de estudos da geometria dessas aberturas, em associação à Bioclimatologia, para que os elementos vazados

sejam devidamente projetados e, portanto, adequados às condições do edifício, e possam responder de maneira satisfatória, sem obstruir os níveis de luminância interna dos ambientes.

Esta pesquisa procura analisar o funcionamento desses elementos aplicados como estratégia de iluminação natural em aberturas verticais, em relação à admissão da iluminação natural em salas de aula tendo como estudo de caso a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade Federal do Pará (UFPA), localizada na cidade de Belém. Para tal, leva-se em conta a orientação das fachadas e a geometria dos sistemas propostos, classificando-os e comparando-os quanto à distribuição e níveis de luminância equivalentes a cada elemento, considerando também, de forma genérica, os aspectos de conforto térmico proporcionados por eles. Busca-se, portanto, promover a otimização do uso de iluminação natural de forma passiva no projeto arquitetônico a fim de evitar o desperdício energético com iluminação artificial.

O trabalho está estruturado em:

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver desenho de elementos vazados de performance satisfatória quanto ao aproveitamento de luz natural em sala de aula.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar, comparativamente, o desempenho de diferentes elementos vazados quanto ao aproveitamento, à iluminância, à distribuição interna de luz natural e ao coeficiente de variação, por meio de simulações computacionais;
- Classificar os aspectos da geometria dos elementos vazados (tamanho da abertura e posicionamento dos módulos) quanto à sua influência no desempenho destes;
- Comparar o aproveitamento de iluminação natural nas salas de aula da FAU-UFPA com os elementos vazados propostos para as orientações Norte e Sul.

## 1.2 METODOLOGIA

Para a elaboração deste trabalho foram definidas as seguintes etapas:

### 1.2.1 Elaboração do TCC I

- Desenvolvimento do plano de trabalho:

Definição do tema e do objeto de estudo, justificativa, objetivos geral e específicos, metodologia e cronograma.

- Fundamentação teórica:

Revisão das principais literaturas acerca de utilização da iluminação natural, seus benefícios e cuidados que se deve tomar ao aplicá-la nas edificações. Abordou-se: Uma introdução aos elementos de proteção solar; Influência climática na arquitetura; Variáveis do conforto térmico; iluminação natural; e os Métodos de avaliação da iluminação natural. As referências corroboraram com a construção da base teórica que fundamentou a pesquisa.

- Estudos de caso:

A análise dos projetos de arquitetura sustentável, com aplicação de estratégias eficiência energética, em especial na utilização de iluminação natural por meio de aberturas verticais, a nível internacional, nacional, regional e local, auxiliou na formação de repertório para a criação dos elementos propostos.

- Caracterização do objeto de estudo:

O prédio da FAU/UFPA foi caracterizado por meio de pesquisa bibliográfica quanto ao projeto do edifício, visitas *in loco*, análise do seu entorno e revisão das características geográficas e climáticas que competem à cidade de Belém.

### **1.2.2 Elaboração do TCC II**

- Descrição do procedimento de análise:

Neste capítulo é descrito todo o procedimento adotado para alcançar os objetivos propostos, bem como as ferramentas necessárias para a sua realização. A primeira etapa consiste: na definição dos modelos e elementos vazados a serem analisados; Modelagem das salas no *software DIALux evo*; Aferição do modelo de simulação; e os Parâmetros de avaliação e análise das simulações;

- Resultados e discussões:

Nessa sessão apresenta-se os resultados obtidos a partir da pesquisa realizada, de acordo com os objetivos e metodologia propostos. Analisou-se o desempenho luminoso de cada elemento em comparação ao desempenho das venezianas existentes; e a comparação do desempenho luminoso entre os três elementos propostos. Em todos os casos analisando a iluminância no plano de trabalho, a distribuição da luz e o alcance da Iluminação.

- Conclusões:

Finalmente são apresentadas as Conclusões sacadas com o trabalho, assim como as limitações do trabalho e as sugestões de pesquisas futuras.

Se fecha o trabalho com as Referências citadas e os Apêndices gerados.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 UMA INTRODUÇÃO AOS ELEMENTOS DE PROTEÇÃO SOLAR**

A luz do sol é, desde a antiguidade, um elemento presente na arquitetura. Mesmo não sendo um componente estrutural, é um fator essencial a ser considerado no projeto arquitetônico. A incidência de luz natural, ao longo da história, foi determinante para a forma que a arquitetura de cada lugar se desenvolveu (KREMER, 2002).

Os projetos arquitetônicos concebidos em países nos quais a oferta de luz é mais difusa, e durante o inverno é significativamente menor, é completamente diferente dos projetos em países nos quais esta oferta é mais perene e abundante (GANS-LANDT, 1992). Os diferentes lugares necessitam de estratégias distintas para alcançar, com a luz, tanto efeitos plásticos quanto o conforto no ambiente construído, de acordo com os objetivos e necessidades de cada época e localidade.

Como afirma Silva (2015), na arquitetura medieval, por exemplo, em especial na gótica, difundiu-se o uso de vitrais, que permitiam a entrada da luz natural por mosaicos translúcidos, iluminando e criando um ambiente agradável no interior das catedrais. Estes elementos permaneceram presentes em diversas épocas e estilos posteriores, chegando até o modernismo.

O mesmo autor comenta que na arquitetura islâmica foram muito utilizados os chamados muxarabis (figura 1), elementos em madeira com ornamentos vazados,

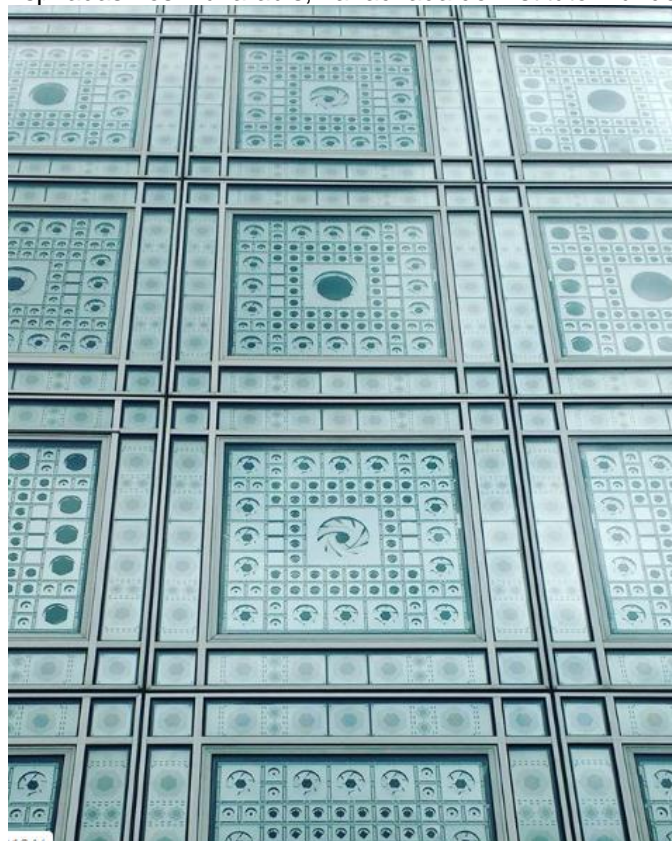
aplicados em varandas para proporcionar a permeabilidade da abertura, e, simultaneamente, bloqueando a visibilidade do exterior para o interior, mas ainda permitindo a entrada de luz natural. *Jean Nouvel*, ao projetar o Instituto Mundo Árabe (figura 2), em Paris, inspirou-se nestes elementos ao criar a fachada do edifício, que conta com placas que controlam automaticamente a entrada de luz nos ambientes internos do prédio, e referenciam visualmente os muxarabis.

Figura 1: Exemplo de muxarabis na arquitetura islâmica.



Fonte: <https://www.anasilviamonteiro.com/blog/tag/muxarabis>

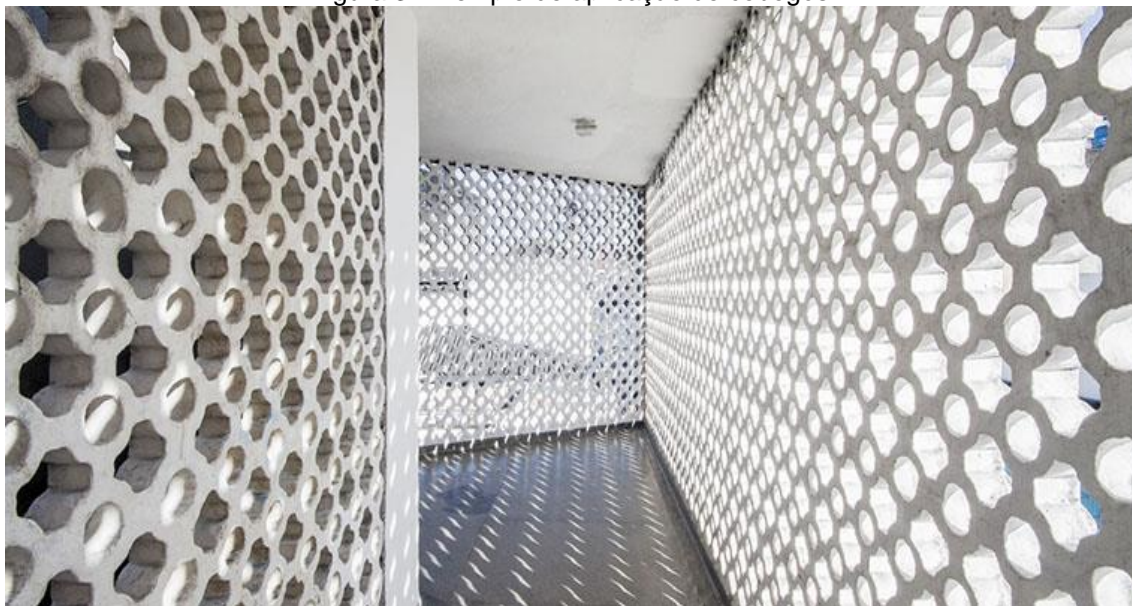
Figura 2: Placas inspiradas nos muxarabis, na fachada do Instituto Mundo Árabe, em Paris.



Fonte: Autora, 2016.

O cruzamento entra as culturas lusitana e islâmica resultou na incorporação da técnica dos muxarabis, com adaptações, na arquitetura portuguesa e, posteriormente, foi trazida ao Brasil. Aqui, esse elemento fez possível o desenvolvimento de outras soluções, como os cobogós (figura 3), em 1929, estruturas vazadas em concreto largamente empregadas em edificações brasileiras durante o período do modernismo, com o princípio de permeabilizar as aberturas possibilitando a entrada de luz natural e ventilação, ao mesmo tempo que controlavam a incidência de radiação solar direta (VIEIRA, et al., 2012).

Figura 3: Exemplo de aplicação de cobogós.



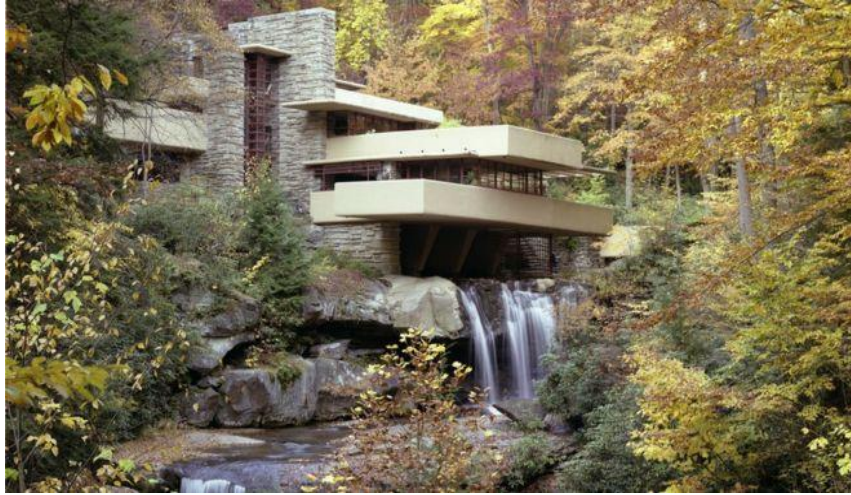
Fonte: Maíra Acayaba, disponível em <<https://www.itaucultural.org.br/sites/cidadegrafica/cobogo-de-pernambuco.html>>

Os chamados elementos de controle solar, como os muxarabis e os cobogós, surgem da necessidade de barrar a incidência direta do sol no ambiente, a fim de evitar o ganho térmico proveniente desta (KREMER, 2002). Baker (1993) apud Kremer (2002), enumera 4 objetivos principais para estes elementos: incrementar o nível de iluminação natural; contribuir para a melhoria da distribuição interna da iluminação; reduzir o brilho proveniente do céu; e controlar a incidência direta dos raios solares.

Durante o modernismo foram empregados diversos métodos de trabalhar os elementos de controle solar. Frank Lloyd Wright utilizava-se de volumes da própria estrutura para sombrear as aberturas, como terraços, telhados e coberturas, como em sua mais famosa obra, Casa da Cascata (figura 4). Le Corbusier, por outro lado, foi um grande expoente do estudo da geometria e utilização do brise soleil (figura 5),

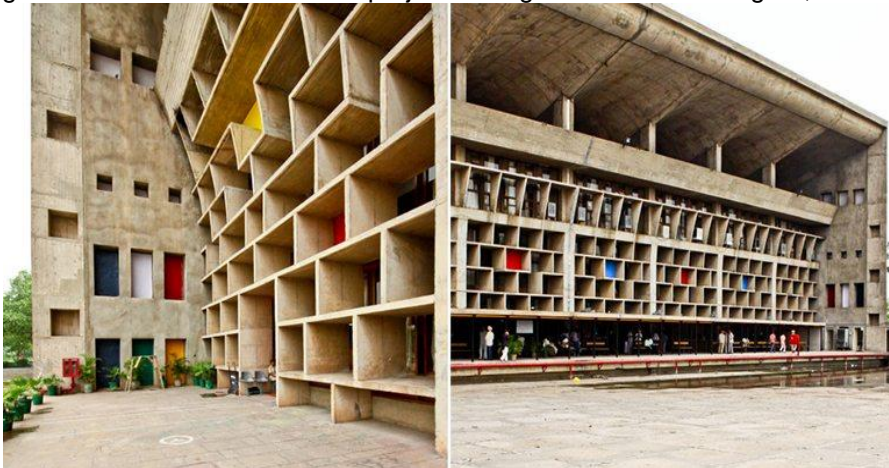
dispositivo que tem, em si, a função de sombrear as aberturas e controlar a incidência direta da luz solar (KREMER, 2002).

Figura 4: Casa da Cascata, de Frank Lloyd Wright.



Fonte: Robert P. Ruschak, disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/vert-cul-40451624>

Figura 5: Uso de brises soleil no projeto da High Court de Chandigarh, na Índia.



Fonte: <<https://skinnylaminx.com/2016/05/13/fabrics-2016-brise-soleil/le-corbusier-high-court-chandigarh-3/>>.

Frota (2004) *apud* Silva (2015), lista diferentes elementos de proteção solar:

- Varanda;
- Marquise;
- Sacada;
- *Brise soleil* vertical;
- *Brise soleil* horizontal;
- *Brise soleil* de composição de placas verticais e horizontais;
- Telas especiais;
- Toldos;
- Cortinas e Persianas;
- Elementos Vazados;

- Pérgulas.

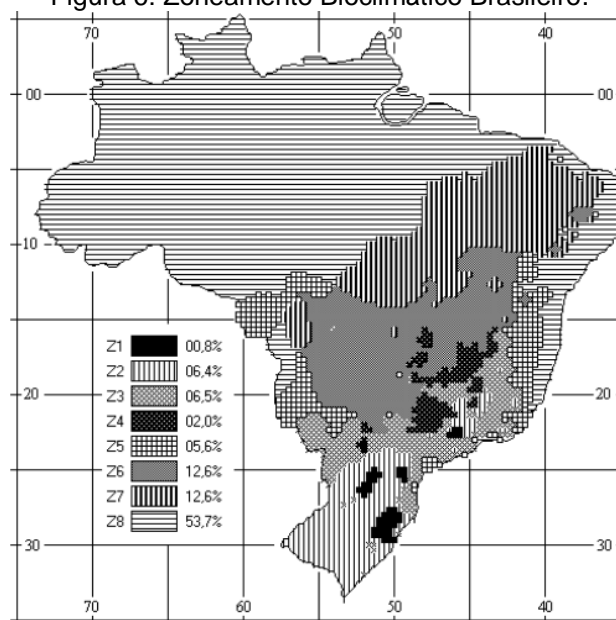
A mesma autora também classifica tais elementos como externos, como brises e toldos, e internos como cortinas e persianas. Silva (2015) aponta a importância dessa classificação, uma vez que os elementos de proteção internos às aberturas não evitam a admissão, para o interior do prédio, de radiação infravermelha de onda curta, que é responsável pelo incremento da carga térmica do ambiente. Dessa forma, os dispositivos classificados como externos, além de promoverem uma permeabilidade, controle e melhor distribuição da luz natural, também seriam mais eficientes no controle da carga térmica, por bloquear os infravermelhos antes que estes sequer adentrem o ambiente.

## 2.2 INFLUÊNCIA CLIMÁTICA NA ARQUITETURA

Segundo o conceito de arquitetura bioclimática, um projeto arquitetônico deve ser adaptado ao clima do local onde será inserido. Para isso, é preciso conhecer totalmente as condições climáticas da região para antever como o edifício irá interagir com essas, buscando estratégias coerentes com o clima, visando o conforto neste ambiente a ser construído.

Existem diversas maneiras de caracterizar e classificar os aspectos climáticos direcionadas à arquitetura. A NBR 15220-3/2003: Desempenho térmico de edificações – Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social (ABNT, 2003) estabelece uma divisão do território do Brasil, por meio de um mapa, em oito Zonas Climáticas (figura 6). Essa norma propõe um conjunto de diretrizes, adequadas ao clima de cada uma dessas zonas, a serem seguidas a fim de proporcionar o conforto térmico nos edifícios. No entanto, apesar das diretrizes propostas pela norma auxiliarem nas decisões projetuais como um parâmetro geral para o clima de cada zona, é necessário apontar que existem variações climáticas entre localidades muito próximas que, muitas vezes, não são contempladas por essa classificação.

Figura 6: Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: ABNT, 2003.

Outra maneira de conhecer o clima e as necessidades de adaptação do projeto à localidade visando o conforto é observando a Carta Bioclimática específica da cidade na qual ele será inserido.

Esta carta bioclimática, também identificada como carta psicrométrica, relaciona os dados de Temperatura de Bulbo Seco e Úmido, Umidade Absoluta e Relativa. Com base nesses índices são plotados pontos relativos a cada dia de um ano, de uma determinada região. A carta ainda apresenta uma divisão em zonas nas quais são identificadas as ações recomendadas para que se atinja o conforto térmico ou a constatação do mesmo. (SILVA, 2015, p.35)

Por meio dela pode-se, portanto, adotar no edifício soluções para favorecer as estratégias bioclimáticas necessárias para a localidade, além da variação anual da necessidade de cada uma dessas estratégias.

Em relação ao desempenho térmico de espaços construídos, Frota (2003) enumera as variáveis climáticas que têm mais influência:

- Oscilação diária e anual da temperatura;
- Umidade Relativa;
- Quantidade de radiação solar incidente;
- Grau de nebulosidade do céu;
- Predominância de época;
- Sentido dos ventos;
- Índices pluviométricos.

Quanto ao desempenho luminoso, Majoros (1998) apud Silva (2015) afirma que a oferta de iluminação natural depende da luz que chega ao edifício, do sol ou do céu.

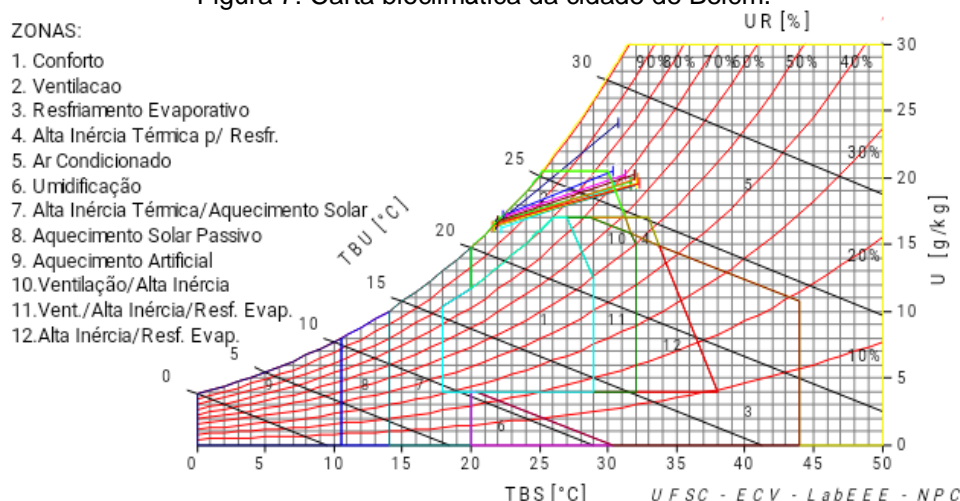
No entanto, a penetração da luz natural no ambiente pode sujeitar, também, a admissão de radiação solar direta, que, dependendo dos fatores climáticos da região tratada, pode ser uma consequência positiva (se uma das estratégias bioclimáticas buscadas for o aquecimento solar passivo) ou negativa (caso seja necessário estratégias de resfriamento). Como afirma Silva (2015), “esta dualidade reforça a necessidade de estudos que permitam o aproveitamento do potencial natural de cada região”.

### 2.2.1 Clima na cidade de Belém

A cidade de Belém, capital do estado do Pará, está localizada a latitude aproximada de 1°27' sul e longitude 40°30' oeste, numa altitude média de 10 metros acima do nível do mar e, de acordo com a NBR 15220-3 (2003) a cidade de Belém está localizada na Zona Bioclimática 8. A norma recomenda, para essa zona, a adoção de aberturas grandes (área maior que 40% da área do piso do ambiente na quais estão inseridas) e totalmente sombreadas, além do emprego de paredes e coberturas leves e refletoras. A estratégia bioclimática recomendada é o uso de ventilação cruzada durante o ano todo, porém, destaca que o condicionamento passivo não é o suficiente durante as horas mais quentes.

Por meio do software Analysis BIO – desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) do Núcleo de Pesquisa em Construção do Departamento de Engenharia Civil a Universidade Federal de Santa Catarina, que utiliza dados climáticos anuais para diversas cidades brasileiras na forma de normais climatológicas, pode-se obter a carta bioclimática da cidade de Belém (figura 7), e o relatório gerado a partir desta carta (tabela 1).

Figura 7: Carta bioclimática da cidade de Belém.



Fonte: Analysis BIO, gerado pela autora, 2019.

Tabela 1: Dados em porcentagem de horas ao longo do ano, gerado pelo Software Analysis BIO a partir da carta bioclimática da cidade de Belém.

<p><b>JANEIRO:</b>            »Ventilação: 84.48            »Ar Condicionado: 15.53</p>	<p><b>JULHO:</b>            »Ventilação: 88.36            »Ar Condicionado: 11.64</p>
<p><b>FEVEREIRO:</b>            »Ventilação: 99.69            »Ar Condicionado: 0.31</p>	<p><b>AGOSTO:</b>            »Ventilação: 85.29            »Ar Condicionado: 14.71</p>
<p><b>MARÇO:</b>            »Ventilação: 95.57            »Ar Condicionado: 4.44</p>	<p><b>SETEMBRO:</b>            »Ventilação: 84.74            »Ar Condicionado: 15.26</p>
<p><b>ABRIL:</b>            »Ventilação: 53.24            »Ar Condicionado: 46.76</p>	<p><b>OUTUBRO:</b>            »Ventilação: 83.39            »Ar Condicionado: 16.61</p>
<p><b>MAIO:</b>            »Ventilação: 88.07            »Ar Condicionado: 11.94</p>	<p><b>NOVEMBRO:</b>            »Ventilação: 82.87            »Ar Condicionado: 17.13</p>
<p><b>JUNHO:</b>            »Ventilação: 86.82            »Ar Condicionado: 13.19</p>	<p><b>DEZEMBRO:</b>            »Ventilação: 84.13            »Ar Condicionado: 15.88</p>

Fonte: Analysis BIO, gerado pela autora, 2019.

Ao analisar os dados do relatório, pode-se observar que Belém não possui horas de conforto térmico durante nenhum dos meses do ano. Em mais de 80% das horas do ano, na cidade, é indicada a adoção de soluções que permitam a ventilação cruzada nos ambientes construídos para atingir as condições de conforto, e nas demais horas é estabelecido que será inevitável o uso de condicionamento artificial para alcançar essas condições.

Por meio do software Analysis SOL-AR, também desenvolvido pelo LabEEE, obteve-se a Carta Solar da cidade (figura 8). Ao analisá-la, vê-se que a proximidade com a linha do Equador faz com que o limite da trajetória do sol a norte seja bastante similar ao limite a sul. Esta pequena variação angular de incidência do sol resulta em variações suaves no clima do local recebida durante o ano, e conseqüentemente, uma oferta bastante regular de radiação solar.



### **2.3.1 A radiação solar como fonte de carga térmica**

Frota (2003) aponta que em localidades onde o clima é prevalentemente quente, como é o caso da cidade de Belém, deve-se prevenir os ganhos demasiados de calor evitando a radiação solar direta de atingir as construções. A autora também comenta que as proteções externas ao edifício tendem a ser mais eficientes por barrarem a radiação antes de sua penetração por transmissividade através de materiais.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que a radiação solar é a principal contribuinte para o ganho térmico nos edifícios. O autor classifica a transferência de calor por radiação em cinco principais partes:

- Radiação solar direta (onda curta);
- Radiação solar difusa (onda curta);
- Radiação solar refletida pelo solo e pelo entorno (onda curta);
- Radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa); e
- Radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa).

A edificação se aquece após receber a radiação solar de onda curta, que entra por uma abertura, e em seguida emite a radiação térmica de onda longa. O vidro, sendo opaco à radiação de onda longa, impede que o calor consiga sair do ambiente interno e se dissipe no meio externo à edificação. Assim, este recinto acumula calor, o que, dependendo do clima da região onde o edifício se encontra pode ser uma consequência negativa. Lambert, Dutra e Pereira (2014) identificam este fenômeno como efeito estufa, e o reconhecem como o maior transformador de radiação solar em calor em edificações.

Os elementos vazados de controle da radiação solar, portanto, consistem em uma das estratégias eficientes para combater este efeito, uma vez que, além de serem proteções externas e de impedirem a entrada da radiação solar nos ambientes, não necessitam do uso de fechamentos envidraçados, evitando o efeito estufa e permitindo a dissipação do calor para o meio externo.

### **2.3.2 A ventilação cruzada como estratégia de dissipação de calor**

Além do ganho excessivo de calor por meio da radiação, pode ser gerado calor dentro do próprio ambiente devido à presença de fontes diversas, como os próprios usuários. A ventilação tem função de remover esse excesso de calor dos ambientes, promovendo melhorias nas condições termo-higrométricas, podendo representar um

fator de conforto térmico incrementando trocas de calor por convecção e evaporação entre o corpo e o ar (FROTA, 2003).

A ventilação também proporciona a renovação do ar nos ambientes, dissipando o calor e desconcentrando vapores, fumaça, poeiras e poluentes (FROTA, 2003). Em um clima quente e úmido, o uso desse fator pode melhorar a sensação térmica, fazendo com que a temperatura do interior acompanhe a do exterior (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014), ou seja, evitando o superaquecimento interno dos edifícios.

Existem várias técnicas para proporcionar a ventilação natural em um recinto. A ventilação cruzada é uma das mais eficazes e simples de serem implantadas, por exigir basicamente um conhecimento da direção predominante dos ventos, no local onde será construída, e duas aberturas em paredes diferentes do mesmo ambiente (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). O uso de elementos vazados pode funcionar como aberturas que auxiliem no alcance da ventilação cruzada, visto que não necessitam de fechamento como, por exemplo, as esquadrias em vidro. Nota-se, no entanto, que apesar desses elementos terem a possibilidade de exercerem funções favoráveis ao conforto térmico, esta pesquisa foca na análise apenas do desempenho luminoso de tais elementos.

## 2.4 ILUMINAÇÃO NATURAL

O homem é extremamente dependente da luz. Baker (1993) apud Kremer (2002), salienta que a luz do sol, em especial, possui inúmeras vantagens em relação à iluminação artificial, ela é o parâmetro máximo do índice de reprodução de cor, a alta eficiência luminosa, por ser uma fonte passiva e também por proporcionar um bem-estar psicológico. Robbins (1986) e Dogniaux (1987) apud Macêdo (2002), listam algumas razões que explicam a influência da luz natural na qualidade de vida nos ambientes internos:

- Contribuição para a orientação espacial e temporal;
- Apesar da grande oscilação, possui um ótimo índice de reprodução de cor;
- Informa sobre o que acontece no entorno, garante o contato com o meio externo.

Por outro lado, a ausência do contato com a luz natural pode trazer não somente um gasto de energia elétrica que poderia ser evitado, como transtornos psicológicos. Garrocho (2005), aponta a Desordem Emocional Sazonal como um desses transtornos:

A luz natural pode ajudar a evitar em alguns indivíduos uma condição conhecida como Desordem Emocional Sazonal (Seasonal Affective Disorder – SAD). As pessoas que vivem diariamente em ambientes climatizados e iluminados artificialmente sentem, em algum grau, mudanças sazonais no seu humor ou comportamento. (...) prédios inadequadamente iluminados durante o dia podem colocar seus ocupantes em risco em qualquer latitude, mesmo no verão. (Garrocho, 2005)

Baker *et al* (2002) *apud* Garrocho (2005) diz que os edifícios com luz natural proporcionam estímulos que desencadeiam processos fisiológicos que evitam desordens como essa.

Além disso, o uso desse recurso pode reduzir drasticamente o consumo de energia elétrica nas edificações, e até mesmo eliminar a necessidade do uso de iluminação artificial durante o dia. Fonseca (2010) aponta que quando considerada nas fases iniciais de projeto, pode ser um sistema praticamente sem custos adicionais à edificação e que o contrário pode resultar na dependência excessiva dos sistemas de iluminação artificial.

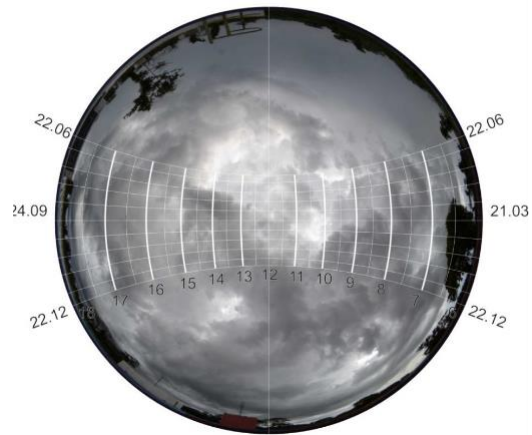
A NBR 15215-3/2004 afirma que a luz natural que é admitida nas edificações é proveniente de três fontes: diretamente do sol, a abóboda celeste e das reflexões do entorno. Guzowski (2000) *apud* Kremer (2002), atribui a disponibilidade de luz natural aos fenômenos: a trajetória aparente do sol (hora do dia, data e azimute), a condição de céu, o clima e o sítio.

Quanto à condição de céu, Silva (2015) afirma que nos estudos de iluminação natural, indica-se a classificação em três condições: a de Céu Claro, Parcialmente Encoberto e Encoberto. Brown (2004) *apud* Silva (2015), caracteriza as três condições:

- Céu encoberto (figura 9): devido a intensa nebulosidade, não há a definição da posição do sol na abóboda celeste, portanto há uma distribuição mais homogênea da luz natural;
- Céu claro (figura 10): com exceção do sol e das áreas imediatas a ele, brilha menos que o céu encoberto. A luz direta presente nessa condição é muito intensa e pode ser uma fonte de ofuscamento e calor indesejado;
- Céu parcialmente encoberto (figura 11): possui grande variação de luminosidade, que faz com que tenha características das duas condições anteriores, com presença de nuvens espaciais que em alguns momentos obstruem e em outros expõem o sol.

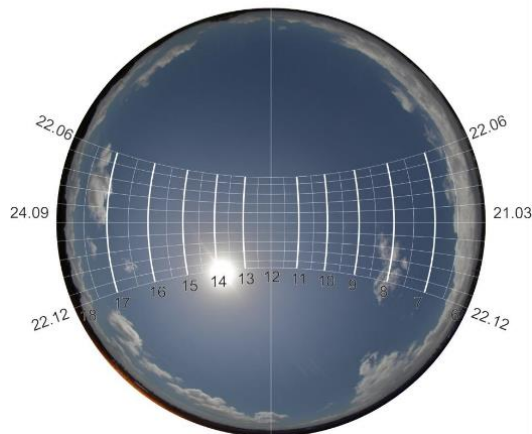


Figura 9: Céu Encoberto Belém. Foto feita em 20/01/2015 às 15:28h.  
N



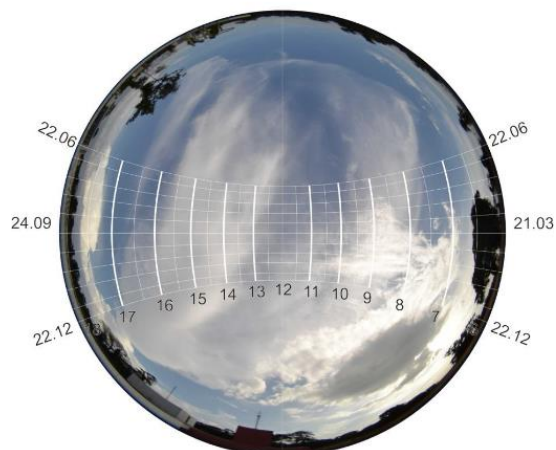
Fonte: Silva, 2015.

Figura 10: Céu Claro Belém. Foto feita em 22/01/2015 às 13:29h  
N



Fonte: Silva, 2015.

Figura 11: Céu Parcialmente Encoberto Belém. Foto feita em 20/01/2015 às 16:45h  
N



Fonte: Silva, 2015.

Por ser uma condição mais uniforme, Kremer (2002) afirma que mais comumente utilizado em pesquisas é a condição de céu encoberto. Lambert, Dutra e Pereira (2014) apontam que esta condição é a mais utilizada em cálculos de iluminação natural por apresentar ser a pior em termos de quantidade de luz disponível.

Silva (2015) cita ainda o estudo realizado por Paulo Sérgio Scarazzato, em 1995, que apresenta dados de iluminância externa para as capitais brasileiras para as três condições de céu, além de introduzir o conceito de “dia típico”, que define as condições de iluminação natural que mais ocorrem durante o ano para cada local. A cidade de Belém tem seu dia típico, segundo esse estudo, em 9 de janeiro, e o padrão de céu é encoberto.

A NBR 15215-3/2004 descreve cálculo da Contribuição da Iluminação Natural, ou CNI. Esse conceito é a razão entre a iluminação interior e exterior e pode ser utilizado para estimar a iluminação natural em um determinado ponto em um ambiente interno.

Fonseca (2010) aponta que a luz solar direta é considerada intensa demais e, além de gerar aquecimento, como já mencionado anteriormente, pode provocar ofuscamento e o excesso de contrastes, provocando, assim, um desconforto visual no usuário.

## 2.5 CONFORTO VISUAL

Lambert, Dutra e Pereira (2014) definem o conforto visual como “um conjunto de condições, num determinado ambiente, no qual o ser humano pode desenvolver suas tarefas visuais com o máximo de acuidade e precisão visual, com o menor esforço, menor risco de prejuízos à vista e com reduzidos riscos de acidentes”. Para isso, os autores também classificam os requisitos necessários para que se atinja a condição de conforto visual:

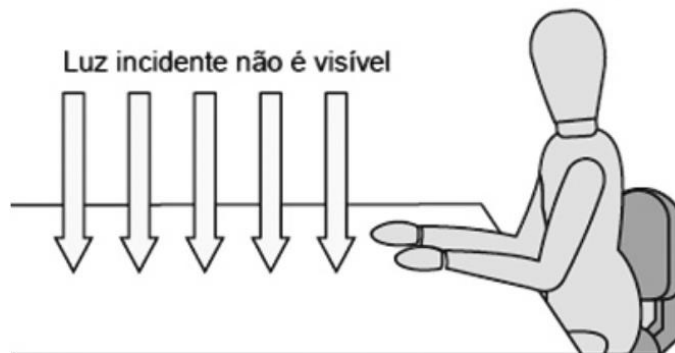
- Iluminância suficiente;
- Boa distribuição de iluminância;
- Ausência de ofuscamento;
- Contrastes adequados (proporção de luminância) e
- Bom padrão e direção de sobras.

A precisão tarefa visual, de acordo com Gonçalves et al (2011), depende do tamanho dos detalhes da tarefa, contraste de luminância e cor entre a tarefa e o seu entorno, velocidade requerida pela tarefa e seu tempo de duração.

### 2.5.1 Nível de iluminação

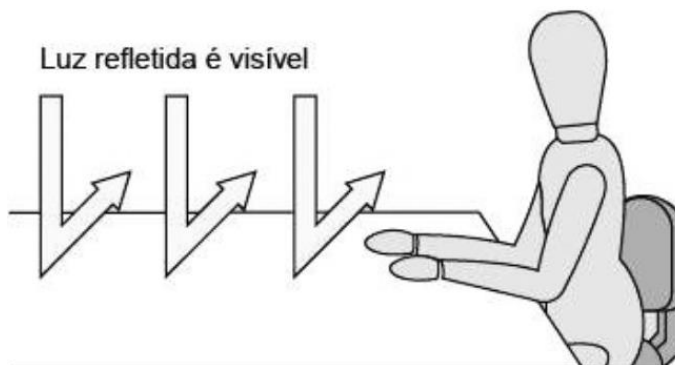
Palhinha (2009) define o conceito de iluminância como a densidade do fluxo luminoso do céu e da luz do sol incidente sobre uma área, a quantidade de luz que chega em determinada superfície, e também é conhecida como nível de iluminação (figura 12). Ela é medida em Lux (lx), e equivale a densidade do fluxo luminoso na área de 1m<sup>2</sup>. A mesma autora define a luminância (figura 13) como a luz refletida resultante da interação entre o fluxo luminoso e as superfícies, e é medida em Candela por m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>). Esta última depende da primeira, mas é a responsável pela sensação de brilho, e é através dela que os seres humanos enxergam.

Figura 12: Representação da Iluminância.



Fonte: [www.dee.ufc.br](http://www.dee.ufc.br) - Curso de Eficiência Energética, *apud* Palhinha, 2009.

Figura 13: Representação da Luminância.



Fonte: [www.dee.ufc.br](http://www.dee.ufc.br) - Curso de Eficiência Energética, *apud* Palhinha, 2009.

A iluminância nas áreas de trabalho é condicionante em como o usuário percebe e realiza a tarefa visual necessária para este trabalho. Pereira (1994) *apud* Kremer (2002) classifica a iluminância média necessária em um recinto como dependente da combinação da cena visual, idade do usuário e importância da acuidade visual no desempenho e refletância do plano de trabalho. Esses também são fatores que a NBR

5413/1992, que trata da Iluminância de interiores, usa para determinar quais os valores de iluminância adequados para a tarefa realizada. A NBR ISO/CIE 8995-1/2013 fixa valores de iluminância média recomendados para diferentes atividades em ambientes de trabalho. A norma também sugere que esta iluminância seja constante e uniforme sobre o plano de trabalho.

Pereira e Souza (2000) *apud* Kremer (2002) comentam que, no geral, quanto maior o nível de iluminação médio, mais nítida será a imagem vista pelo olho, entretanto, se os níveis de iluminação forem muito elevados, podem gerar fadiga visual sem necessariamente melhorar o rendimento.

### **2.5.2 Contraste e ofuscamento**

Lambert, Dutra e Pereira (2014) definem contraste como a relação entre a luminância de uma superfície e a luminância de seu entorno imediato. A sensibilidade ao contraste melhora com o aumento da luminância, que é função da iluminação. Vianna e Gonçalves (2001); Palhinha (2010) apontam que condições de desconforto visual podem ser causadas por contrastes excessivos, embora um certo grau de contraste também favoreça a visibilidade.

O olho humano necessita de adaptação entre níveis de luminância diferentes. Se estes níveis forem muito altos, ou seja, se houver um grande contraste entre diferentes planos e pouca uniformidade na iluminação, o tempo necessário para adaptar-se ao novo nível de luminância também é grande, causando fadiga visual no usuário. Portanto, a distribuição dos níveis de iluminação deve apresentar certa uniformidade, concluem os mesmos autores.

Quando o processo de adaptação do olho não acontece normalmente por conta dessa variação exagerada da iluminação, ocorre o chamado ofuscamento, que leva à redução da capacidade visual (LAMBERT, DUTRA E PEREIRA, 2014). Os mesmos autores classificam esse fenômeno nas categorias de ofuscamento direto, que é provocado pela própria fonte de luz, e ofuscamento indireto, causado pela reflexão de fontes de luz numa superfície polida.

Entre as estratégias para evitar este efeito é utilizando no ambiente, superfícies foscas (para evitar o ofuscamento indireto), e difusoras (para evitar o ofuscamento direto), e soluções que diminuam o alto contraste e uma uniformidade da distribuição nos níveis de luminância nos recintos (LAMBERT, DUTRA E PEREIRA, 2014).

## 2.6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE ILUMINAÇÃO NATURAL

A qualidade da iluminação pode ser avaliada tanto a aspectos quantitativos quanto qualitativos. Os quantitativos são relacionados com o nível de iluminação (iluminância) e sua distribuição no ambiente. Qualitativos são relacionados a fonte de luz, presença ou não de ofuscamento, contraste, entre outros (KREMER, 2002).

Para medições dos níveis de iluminação são utilizados fotômetros (também chamados de luxímetros), que mensuram a densidade do fluxo luminoso que atinge um ponto do recinto, e a caracterização da iluminância de um ambiente é resultado da aferição em diversos pontos do ambiente, Kremer (2002).

Silva (2015) diz que uma das primeiras formas de avaliar a iluminação natural em ambientes internos foi por meio do conceito de Fator de Luz Diurna:

Segundo a NBR 15215-3 (2005), o uso do Fator de Luz Diurna é recomendado pela Comissão Internacional de Iluminação (...) e definido como a razão entre a iluminância de um determinado ponto - localizado num plano horizontal interno, devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste, com uma distribuição de luminâncias assumida ou conhecida - e a iluminância simultânea em um plano externo horizontal livre de obstruções (...) Essa avaliação consiste basicamente em uma aproximação comparativa que relativiza a quantidade de iluminação no interior de um edifício à quantidade de luz natural disponível no exterior do mesmo. (SILVA, 2015)

Baker (1993) *apud* Kremer (2002) caracteriza três métodos de avaliação da luz natural: métodos simplificados (matemáticos e gráficos), métodos computacionais e simulações com modelos físicos em escala reduzida.

Souza (1997), sobre o uso de métodos de avaliação gráficos simplificados, afirma que “se justifica também pelo caráter didático e ilustrativo que este tipo de ferramenta possui - facilitando uma rápida visualização da influência da adoção de determinado sistema de aberturas e tornando ágil a comparação entre sistemas de iluminação propostos na fase inicial de estudos”. No entanto, a mesma autora aponta que esses métodos possuem limitações, especialmente por serem baseados em suposições teóricas inerente a aplicação.

Os métodos computacionais têm destaque nas últimas duas décadas com o surgimento de softwares que se baseiam em cálculos de equações matemáticas que retratam e simulam os fenômenos físicos que acontecem na realidade. As vantagens desses métodos, segundo Kremer (2015), são:

- Facilidade e flexibilidade no desenvolvimento de estudos paramétricos;
- Processamento dos cálculos de grande aproximação ao fenômeno real de propagação da luz;

- Rapidez na realização de cálculos extensos com pouco tempo de processamento;
- Indepe de fatores climáticos reais pois se baseiam em dados virtuais;
- Possibilidade de avaliar ambientes ainda a nível projetual;
- Facilidade de realizar ajustes nos modelos;
- Economia de tempo e recursos;
- Facilidade de visualização de análise.

Por fim, Silva (2015), a respeito dos métodos de simulações com modelos físicos em escala reduzida, alega que entre seus aspectos positivos está a possibilidade de testar soluções de sistemas e materiais de difícil representação em sistemas numéricos, onde as formas são complexas e não usuais. O autor também cita Franco (2003) ao afirmar que os raios solares tratam objetos em escala reduzida da mesma forma que os objetos em tamanho real, o que possibilita o uso dessa técnica. Pereira, Pereira e Castaño (2012) enumeram as principais vantagens do estudo por meio de modelos:

- Os dados podem ser precisos mesmo com modelos simples;
- Possibilidade de lidar com geometrias complexas;
- Facilidade de comparações;
- Possibilidade de avaliações qualitativas pela observação ou registros fotográficos;
- Objeto familiar aos projetistas;
- É didático e facilita a comunicação entre membros da equipe e clientes.

Os mesmos autores também apontam que em modelos de escala reduzida é possível responder a questões tanto de aspectos quantitativos, avaliando a eficácia e qualidade da iluminação natural no ambiente por meio de medições técnicas, quanto de aspectos qualitativos, uma vez que essa representação permite ter uma percepção do conforto visual e como esta luz interage com as características espaciais do ambiente. Esses testes podem ser desenvolvidos sob o céu real ou sob céu artificial.

No entanto, Pereira, Pereira e Castaño (2012) advertem que para que a escala reduzida não tenha influência na avaliação da iluminação natural é preciso que se tenha cuidado na representação de cores, texturas e materiais empregados. Dessa forma, os autores comprovam que, sob condições de céu real, se comparadas as medições de iluminância realizadas simultaneamente em modelos físicos de escala reduzida e no ambiente real, os erros são inferiores a 5%, exceto nas situações em que

a componente refletida interna foi relevante, nos pontos mais distantes às aberturas (os autores apontam o uso de materiais diferentes entre o ambiente real e o modelo como possível causa da ocorrência de maiores discrepâncias entre os valores obtidos nas medições).

Portanto, a realização de experimentos para avaliar iluminação natural em edifícios com modelos físicos em escala reduzida pode ser um método bastante confiável para simular o comportamento e as condições da iluminação no interior de ambientes, desde que seguidas as recomendações encontradas em bibliografia específica.

### **3 ESTUDOS DE CASO**

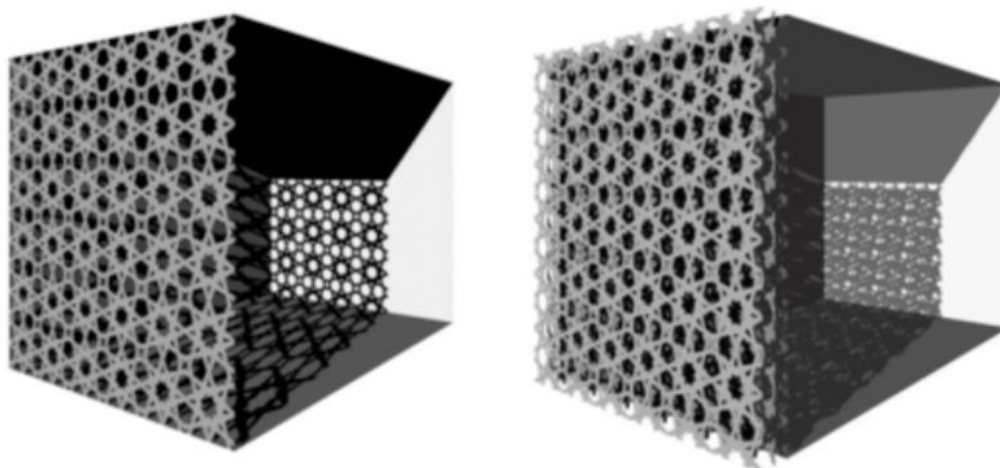
A seguir, serão apresentadas algumas pesquisas realizadas recentemente referentes à análise e ao desenvolvimento de sistemas de proteção solar, em específico de elementos vazados aplicados em aberturas laterais. Estes estudos permitiram que se adquirisse um bom repertório e diretrizes que conduziram as propostas criadas.

#### **3.1 MUXARABI DE FORMA VARIÁVEL**

Em artigo publicado no periódico *Energy Procedia* (GIOVANNINI *et al.*, 2015), os autores analisam como a implantação do sistema concebido por eles, denominado SMV (Shape Variable Mashrabiya, ou Muxarabi de Forma Variável, em tradução livre) em um edifício de escritórios hipotético localizado na cidade de Abu Dhabi, capital dos Emirados Árabes Unidos, pode afetar a iluminação interna durante o ano e a performance energética do edifício.

O sistema SMV foi projetado para o clima de regiões áridas e desérticas, como é o caso da cidade de Abu Dhabi, buscando conciliar estratégias de conforto visual e térmico, prevenindo o ganho excessivo de calor e ofuscamentos causados por iluminação excessiva provenientes da insolação direta. A solução encontrada foi o desenvolvimento de um elemento composto por três painéis reflexivos e opacos idênticos, esculpidos em um padrão inspirado nos vernaculares muxarabis (figura 14). Esses painéis são móveis, e podem abrir ou fechar de acordo com a presença de luz solar direta. Quando a luz solar incide diretamente no sistema ele se fecha, bloqueando a absorção da radiação direta, ao mesmo tempo que as múltiplas reflexões entre os três painéis permitem a entrada de luz indireta e difusa no ambiente. Quando a luz solar não incide diretamente, ele se abre, permitindo a penetração da luz da abóbada celeste e parte da visualização do exterior.

Figura 14: imagens das configurações do sistema SMV aberto (à esquerda) e fechado (à direita).



Fonte: Giovannini *et al.*, 2015.

Na análise comparativa apresentada no artigo, o sistema SMV foi aplicado às fachadas Leste e Oeste de um edifício com fachada de vidro, e comparado a outras estratégias de controle de ganho térmico por radiação direta mais comumente utilizadas na região, sendo estas: vidros refletivos (espelhados), vidros seletivos (com proteção solar) e venezianas. Dessa forma, oito casos foram considerados nas simulações: o SVM testado com três materiais de diferentes refletâncias ( $R= 70\%$ ,  $80\%$  e  $90\%$ ); as venezianas, externas à edificação, utilizadas de três formas pelos usuários (forma passiva, de forma ativa e de forma intermediária); e os dois tipos diferentes de vidraças (refletivas e seletivas). Essa comparação foi realizada em duas etapas: a primeira sob métricas climáticas de iluminação (*Daylight Autonomy*), e a segunda sob a demanda de energia para iluminação, resfriamento e aquecimento do edifício. A análise dos resultados destas duas etapas permitiu a verificação da eficiência de cada sistema.

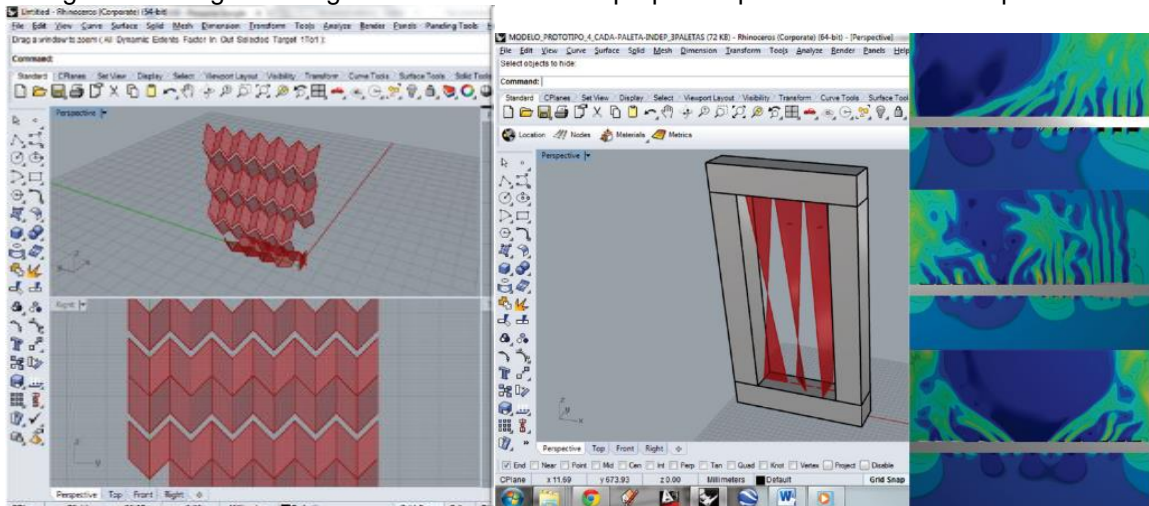
Os resultados comprovaram que o sistema SVM desenvolvido pelos autores, nas condições analisadas e entre os casos simulados, é o que consegue trazer benefícios tanto para a iluminação natural quanto para a economia de energia. Ele pôde minimizar os problemas com ganho de calor excessivo e, conseqüentemente, com a demanda de energia para resfriamento dos ambientes. Ao mesmo tempo, foi o sistema que conciliou melhor a quantidade de luz natural nos espaços, a demanda energética para iluminação artificial e o controle de ofuscamento, sendo assim o mais eficiente no aumento do conforto visual.

### 3.2 ELEMENTOS DE PROTEÇÃO DE FACHADAS RESPONSIVOS

Pinto *et al.* (2015) realizaram um estudo para o desenvolvimento de elementos de proteção de fachadas inspirados nos cobogós pernambucanos, bastante significativos na memória da arquitetura no local onde foi conduzida a pesquisa, na cidade do Recife. Eles desenvolveram um elemento responsivo, voltado para a utilização em climas quentes e úmidos. Cada um dos módulos deste dispositivo é controlado por motores ativados por sensores de iluminação, temperatura e umidade, que segundo parâmetros definidos em um algoritmo. Os componentes funcionam de modo independente, possibilitando o direcionamento do vento, aumento e redução da iluminação de acordo com cada situação.

A pesquisa se desenvolveu em seis etapas: avaliação do uso dos cobogós na cidade do Recife; definição da geometria dos protótipos; elaboração dos modelos físicos dos protótipos; simulações do funcionamento do protótipo; comparação entre o funcionamento dos sensores e modelos digitais e, enfim, na elaboração de um protótipo funcional. Durante a concepção do modelo, os autores buscaram a redução de custos, além de evitar dificuldades de aquisição dos componentes para a reprodução do protótipo. Assim, foram consideradas diferentes geometrias, componentes eletrônicos e materiais (figura 15).

Figura 15: imagens das geometrias inicialmente propostas para os elementos responsivos.

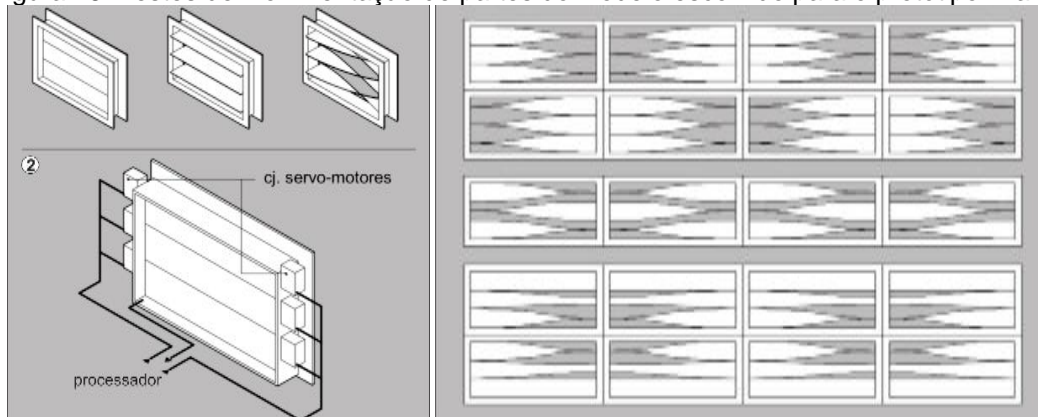


Fonte: Pinto *et al.*, 2015.

Apesar de terem sido desenvolvidos modelos físicos e digitais com diferentes movimentações e configurações, o protótipo final foi escolhido por necessitar dos materiais de menor custo e maior simplicidade de execução. Um módulo do modelo es-

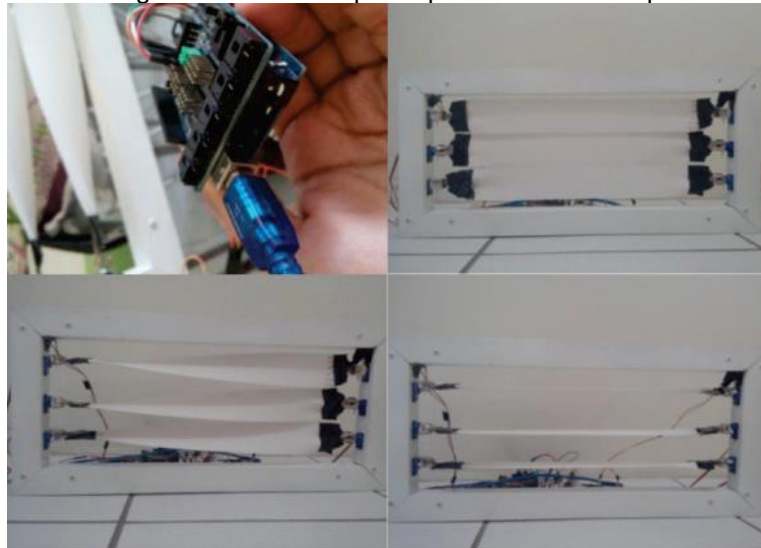
colhido foi elaborado, e seu mecanismo se dá pela deformação de três fitas de poliéster, posicionadas paralelamente na horizontal. Elas são movimentadas e retorcidas por servo motores acoplados em cada ponta de cada fita, que por sua vez são acoplados a uma esquadria de alumínio retangular (figura 16). Cada fita pode ser movida separadamente, e, ao serem torcidas, funcionam como um elemento vazado e podem permitir a entrada de ventilação e luz natural no ambiente (figura 17).

Figura 16: Testes de movimentação de partes do modelo escolhido para o protótipo final.



Fonte: Pinto *et al.*, 2015.

Figura 17: Imagens de testes do protótipo final elaborado pelos autores.



Fonte: Pinto *et al.*, 2015.

Segundo os autores, o mesmo código utilizado para controlar o sensor de temperatura e enviar os dados ao modelo digital foram utilizados no protótipo físico e, como resultado, as respostas obtidas na realidade foram muito semelhantes às testadas nas simulações dos protótipos digitais. Apesar do modelo final apresentar uma geometria simples, quando trabalhado em módulos possui um grande potencial de

composições estéticas devido aos diferentes níveis de movimentação, já que cada motor pode funcionar de forma independente.

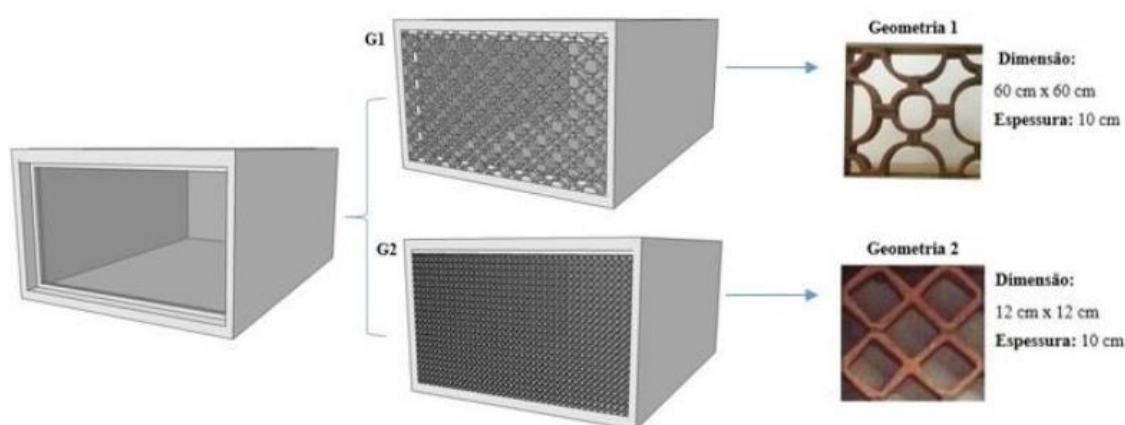
Por fim, os autores apontam que a contribuição da pesquisa para o conhecimento não está necessariamente na fabricação do produto final em si, mas sim no processo de concepção, pesquisa e desenvolvimento de um mecanismo inovador, exequível e que auxilie na adequação de edificações ao clima local, processo este que permite uma exploração de inovações no campo da conforto térmico e aprendizagem dos alunos envolvidos no estudo, além de resgatar a memória e eficiência dos cobogós pernambucanos.

### 3.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO LUMÍNICO UTILIZANDO COBOGÓS

Em artigo apresentado no Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) de 2017, Cordeiro *et al.* (2017) avaliam o desempenho lumínico de duas diferentes configurações geométricas de cobogós em uma sala hipotética de escritórios, considerando esses elementos como uma segunda pele da envoltória do edifício. Os casos analisados foram em função de quatro latitudes diferentes, sendo estas  $0^{\circ}$ ,  $-10^{\circ}$ ,  $-20^{\circ}$  e  $-30^{\circ}$ , com o objetivo de abranger a maior parte do território brasileiro.

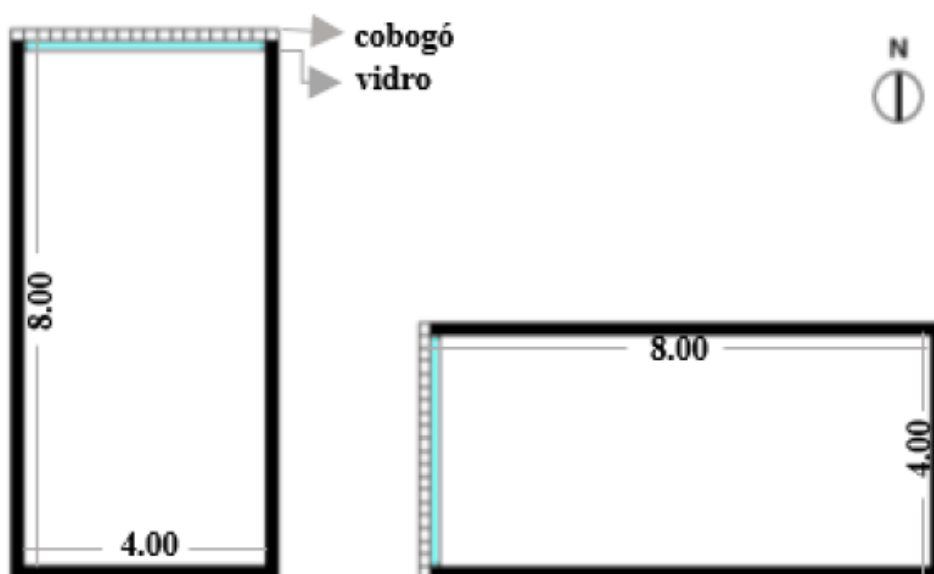
O estudo definiu três situações (figura 18): a sala de escritórios com a janela somente em vidro incolor (caso de referência); a mesma sala com a geometria 1 de cobogós, em conjunto com o vidro incolor; e a mesma sala com a geometria 2 de cobogós, também em conjunto com o vidro incolor. A sala avaliada foi definida no formato retangular, e foi a fachada que possuía a esquadria foi simulada com a orientação Norte e Oeste, para todas as latitudes propostas (figura 19).

Figura 18: Representação das três situações definidas na pesquisa.



Fonte: Cordeiro *et al.*, 2017.

Figura 19: Dimensões dos modelos estudados e as orientações estudadas.

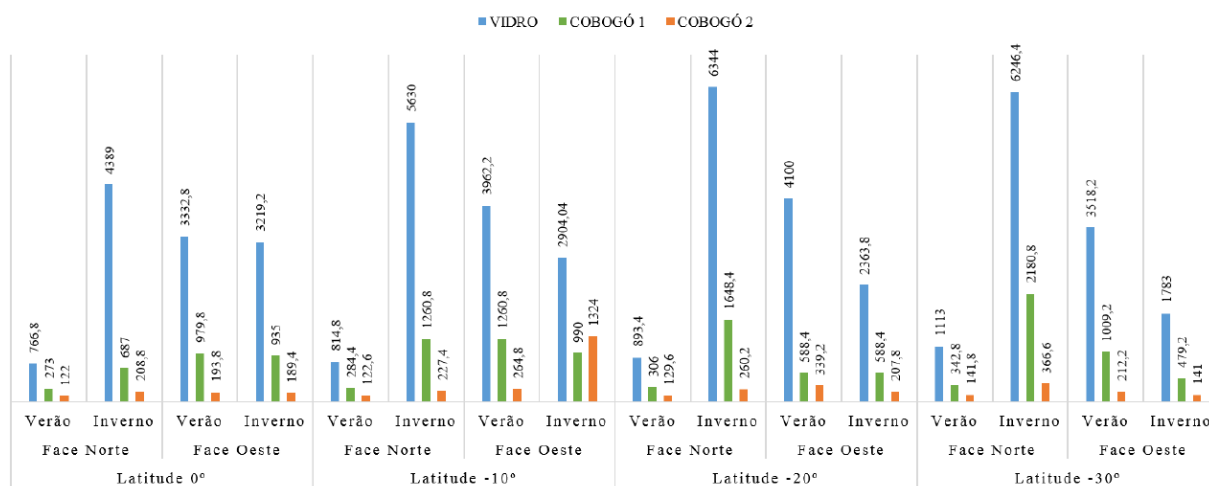


Fonte: Cordeiro *et al.*, 2017.

Foram analisados, para a comparação, parâmetros de níveis de iluminância e uniformidade da luz, por meio de simulações computacionais. As avaliações dos dados se deram de acordo com as indicações da norma NBR ISO 8995-1 (2013) e do conceito de UDI (*Useful Daylight Illuminance*), proposto por Nabil e Mardaljevic (2006). O cálculo do nível de iluminância nos ambientes internos foi feito pelo programa computacional *DIALux evo*, e foram definidos os dias 22 de dezembro (solstício de verão) e 22 de junho (solstício de inverno), nos horários de 8h, 10h, 12h, 14h e 16h, sob condições de céu claro.

Os resultados obtidos foram organizados no gráfico da figura 20, que apresenta a média de iluminância média, em lux, da sala estudada para as quatro latitudes selecionadas. Eles mostram que houve uma redução da iluminância para o cobogó 2, uma vez que a geometria deste apresenta perfurações menores que aquelas do cobogó 1, mas evidenciando os cobogós como elementos de redução da incidência solar direta sobre ambientes internos.

Figura 20: Média de Iluminância média (lux) obtida nas simulações.



Fonte: Cordeiro *et al.*, 2017.

Além disso, o estudo também pôde demonstrar que a distribuição de iluminância no ambiente interno é mais uniforme quando há a inserção dos cobogós, em contrapartida com o que ocorre quando as aberturas estão sem esses elementos, isso ocorre devido ao redirecionamento da luz no ambiente interno. Os autores notaram, por exemplo, uma redução de iluminância superior a 60%, para o cobogó 1, e 70% para o cobogó 2, para a latitude 0°, evitando, assim, ofuscamentos, mas ainda proporcionando níveis de iluminância dentro dos estipulados pela norma para a realização das tarefas no campo de trabalho.

O cobogó 1 mostrou ser mais eficiente devido à sua área de abertura ser maior que à do cobogó 2. Para este último, apesar de proporcionar maior uniformidade da iluminação natural, seria necessário a complementação com luz artificial em quase todos os horários analisados. Os autores concluíram que o uso dos cobogós realmente poderiam melhorar o desempenho lumínico das salas estudadas, em quase todas as situações simuladas.

#### 4 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Como já mencionado, o presente estudo propõe geometrias de elementos vazados e a análise do desempenho luminoso de cada um deles, especificamente aplicadas nas salas de aula do prédio da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Portanto, fez-se necessária a caracterização físico-ambiental do referido edifício.

#### 4.1 BREVE HISTÓRICO DO PRÉDIO DA FAU UFPA

O curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPA, criado em 1964, ocupou diferentes sedes até que, em 1973, o Campus José Rodrigues da Silveira Netto, no bairro do Guamá na cidade de Belém (figura 21), recebeu investimento para a construção do atelier, no Campus Profissional, à beira do Rio Guamá, e seria voltado para o ensino de Desenho e Plástica (MIRANDA et al., 2015). Os estudos preliminares foram realizados por Daniel Campbell e Paul Albuquerque em 1978. O projeto original consistia em um volume suspenso sobre *pilotis*, criando um grande vão livre que seria destinado a exposições temporárias, sem impedir a vista panorâmica do rio, além de servir como área de convivência para os alunos durante os intervalos das aulas (figura 23).

Figura 21: Localização da FAU no Campus Profissional da UFPA.



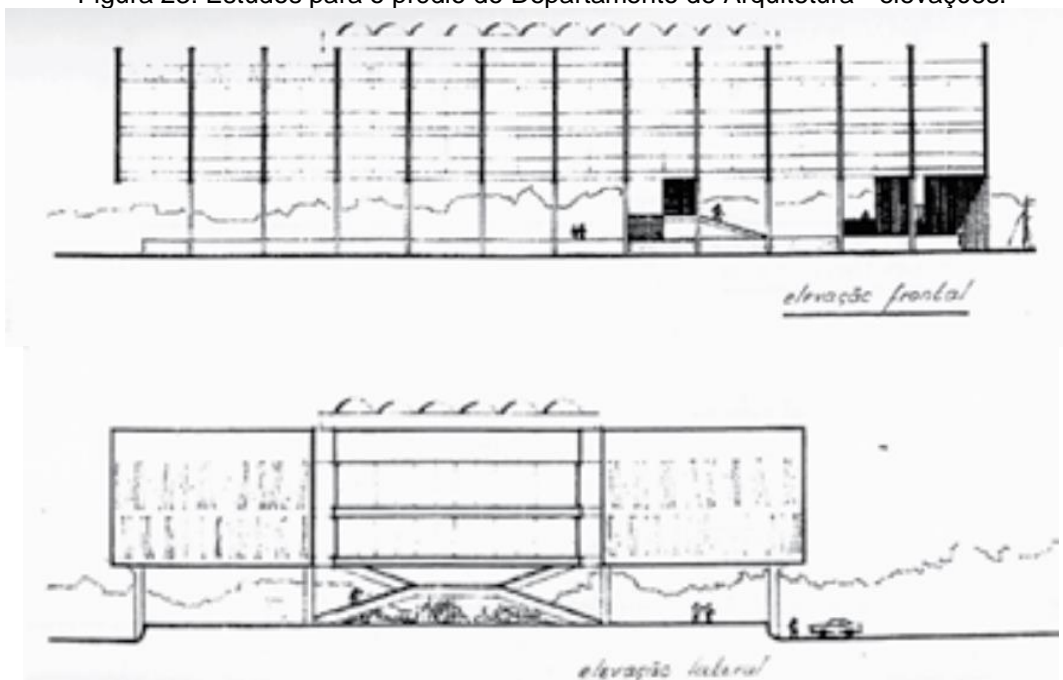
Fonte: <https://www.google.com.br/maps/place/Faculdade+de+Arquitetura+e+Urbanismo+++UFPA/@-1.4746763,-48.4525136,484m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x92a48d96620317a5:0xd1664b978f0dd3e9!8m2!3d-1.4753369!4d-48.4528841>, modificado pela autora, 2019.

Figura 22: Trajetória do sol e predominância de ventos na FAU.



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/place/Faculdade+de+Arquitetura+e+Urbanismo++UFPA/@-1.4746763,-48.4525136,484m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x92a48d96620317a5:0xd1664b978f0dd3e9!8m2!3d-1.4753369!4d-48.4528841>, modificado pela autora, 2019.

Figura 23: Estudos para o prédio do Departamento de Arquitetura - elevações.



Fonte: Acervo Escritório Modelo, 1978.

Miranda et al. (2015) apresenta parte do Memorial do chamado “Estudo para prédio destinado ao Departamento de Arquitetura Centro Tecnológico Universidade Federal do Pará”, assinado por Campbell e Albuquerque, os projetistas declaram que

“um prédio destinado ao ensino da arquitetura não pode ser apenas ‘outro’ prédio”, e que deveria se distinguir dos demais edifícios do campus “na medida em que se constitui um exemplo digno e dignificante da arquitetura brasileira”.

Esta última afirmação denota a influência, no partido do edifício e nas decisões tomadas no projeto, da Arquitetura Modernista Brasileira, cuja afirmação do modernismo na linha carioca foi tardia na cidade de Belém (SARQUIS, 2003). Além da busca por ser um “exemplo digno da arquitetura brasileira”, essa influência também é percebida no uso de materiais como concreto aparente e vidro, além da priorização da função, sem uso de elementos ornamentais, e pela planta livre, independente da estrutura. Além disso, o projeto contava com um jardim central, que gerava um vazio coberto por domos acrílicos transparentes suspensos, com função de permitir ampla iluminação no interior do prédio, mas colocados de forma a permitir a circulação de ar.

O projeto executivo, no entanto, concebido por Armando Couceiro e instalado em 1981, fez algumas poucas modificações no projeto preliminar de Campbell e Albuquerque, sendo a principal delas a eliminação dos *pilotis*, segundo Albuquerque, “suprimiram isso dizendo que era... supérfluo” (MIRANDA et al, 2015). No entanto, o edifício continuou com os traços modernistas estabelecidos pelos estudos iniciais, com amplos espaços de convivência, planta livre, estrutura aparente e grande uso de concreto e vidro (figuras 24 e 25). O jardim foi mantido, porém os domos de acrílico foram retirados, deixando um vazio sem cobertura, permitindo a entrada não somente de luz natural, mas também de ventilação e chuva, porém protegido por um generoso beiral (figura 26). Foi acrescentado ao projeto original, também, duas varandas que cercam o prédio, uma voltada para a fachada principal, e outra voltada para os fundos, ambas no segundo pavimento. Quase todas as janelas do edifício possuem venezianas em madeira escura, como é possível observar na figura 24.

Figura 24: Fachada do prédio da FAU.



Fonte: Miranda, 2009, disponível em < <http://haroldobaleixe.blogspot.com/2009/02/arquitetura-da-ufpa-selecionara-alunos.html> > acesso em 15 dez 2019.

Figura 25: Hall do prédio da FAU.



Fonte: Foto da autora, 2019.

Figura 26: Jardim interno do prédio da FAU.



Fonte: Foto da autora, 2019.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS SALAS A SEREM ESTUDADAS

As salas de aula que serão objeto deste estudo estão localizadas no segundo pavimento do prédio (figura 27). As paredes externas têm orientação de  $355^{\circ}$  e  $175^{\circ}$  em relação ao Norte, e foram denominadas de Sala Norte e Sala Sul, respectivamente. Elas foram escolhidas por não sofrerem muita interferência de obstrução da vegetação existente no entorno do edifício, e por possuírem as mesmas características, diferenciadas apenas por estarem em orientações opostas.

Figura 27: Planta do segundo pavimento do prédio da FAU, com a sala objeto de estudo identificada.



Fonte: Acervo da Instituição, modificado pela autora, 2019.

As salas possuem  $38 \text{ m}^2$ , com  $4,85\text{m}$  de largura e  $7,85\text{m}$  de comprimento. Uma das paredes laterais é de alvenaria comum rebocada e pintada, enquanto a outra é uma divisória em MDF pintada com tinta branca. Elas não possuem forro, sendo o teto em laje pintada com tinta PVA branca. O piso é de placas de concreto de alta resistência. As venezianas de madeira estão posicionadas tanto na parede externa como na interna, para compor a identidade visual do prédio e para permitir a ventilação e iluminação nas salas de aula. A parede externa, é composta por esquadrias duplas, com as venezianas e vidro, e parede de alvenaria na parte central (figura 28). Essa

parede divide a sala da varanda localizada nos fundos do prédio. A parede interna é toda composta da mesma esquadria dupla, com venezianas e vidro, além da porta que dá acesso ao corredor de circulação (figura 29).

Figura 28: Parede interna da Sala Sul.



Fonte: Foto da autora, 2019.

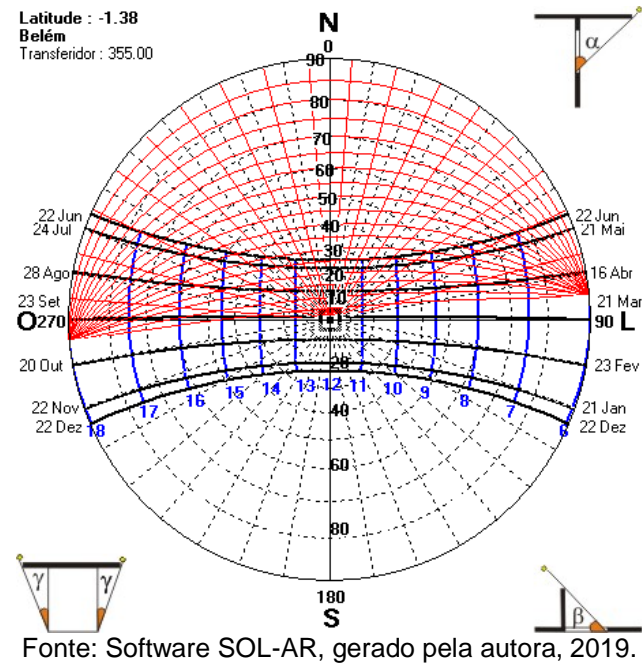
Figura 29: Parede externa da Sala Sul.



Fonte: Foto da autora, 2019.

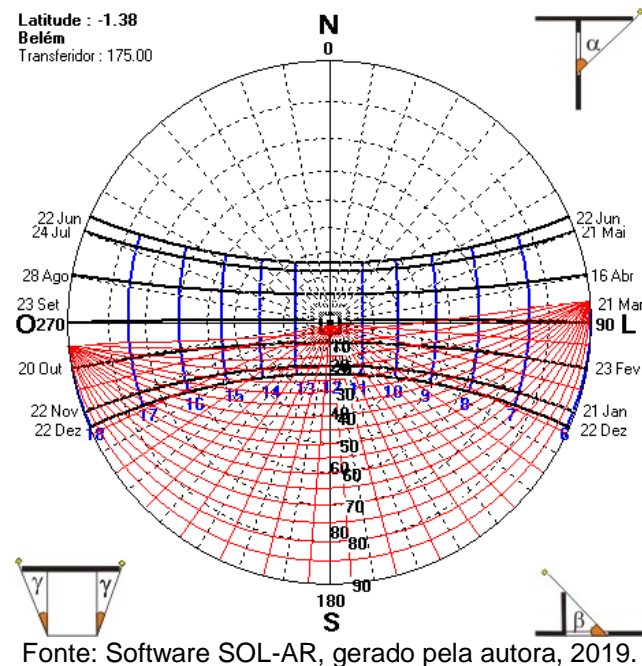
Analisando a posição das salas através da carta solar, gerada pelo software SOL-AR para a orientação de  $355^{\circ}$ , pode-se notar que a fachada da Sala Norte recebe insolação durante todas as horas do dia entre os meses de abril e setembro (figura 30).

Figura 30: Carta solar da fachada externa da Sala Norte.



Para a orientação de  $175^\circ$ , quando analisada a carta solar, gerada pelo mesmo software, nota-se que a fachada da Sala Sul recebe insolação durante todas as horas do dia entre os meses de outubro a março (figura 31).

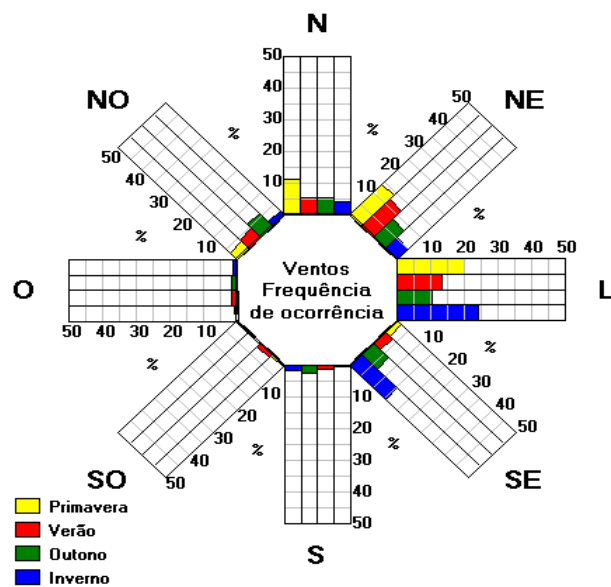
Figura 31: Carta solar da fachada externa da Sala Sul.



O software SOL-AR também proporciona as rosas dos ventos para a cidade de Belém. Quanto à frequência de ocorrência (figura 32) ela permite identificar que a

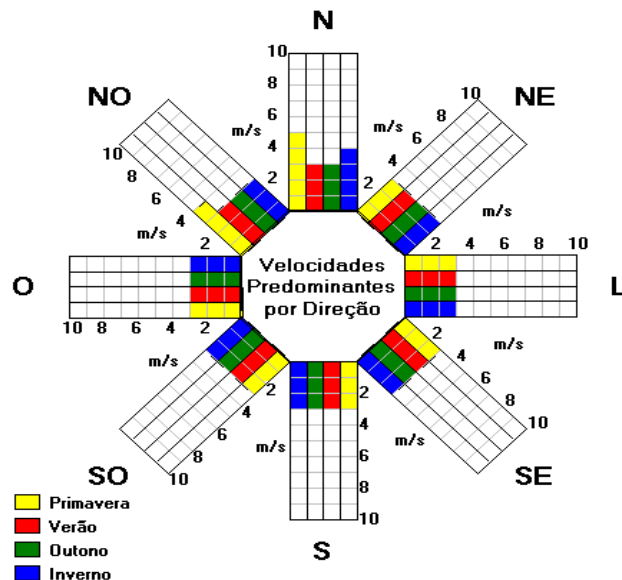
predominância dos ventos na cidade, em todas as estações, é na direção leste e nordeste. Quanto à velocidade predominante (figura 33), notamos que, em média, a velocidade dos ventos na cidade é de 3 m/s em todas as direções e em todas as estações, com exceção da primavera, quando os ventos em norte e noroeste chegam a velocidade de 5 m/s, e no inverno no qual os ventos a norte chegam a velocidade de 4 m/s. Portanto, a Sala Norte é contemplada com maior ventilação, enquanto a Sala Sul recebe apenas pela ventilação sudeste, no período do inverno amazônico.

Figura 32: Rosa dos Ventos quanto à frequência de ocorrência para a Cidade de Belém.



Fonte: Software SOL-AR, gerado pela autora, 2019.

Figura 33: Rosa dos Ventos quanto à velocidade predominante por direção para a Cidade de Belém.



Fonte: Software SOL-AR, gerado pela autora, 2019.

## 5 MATERIAIS E MÉTODO

Neste capítulo é descrito o método proposto para alcançar os objetivos dessa pesquisa, bem como as ferramentas necessárias para a sua realização. A primeira etapa consiste na definição dos modelos e elementos vazados a serem analisados.

### 5.1 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS VAZADOS

Para o desenho dos elementos a serem analisados determinou-se que fossem mantidas áreas iluminantes similares entre os três, para que esse não fosse um fator que interferisse na análise de desempenho, permitindo associar suas características a outros aspectos de sua geometria uma vez que a área iluminante seria uma variável fixa nos três. Além disso, eles foram desenhados com formas geométricas simples e simétricas, para facilitar tanto a modelagem na maquete digital, quanto uma possível manufatura dos elementos caso venham a ser fabricados. Também se estabeleceu que os elementos teriam mecanismos que permitissem que estes fossem fechados, uma vez que as salas da faculdade muitas vezes acomodam aulas que utilizam projetores e, portanto, necessitam também da possibilidade de bloquearem a luz para melhor visualização das projeções. Nota-se que o objetivo da pesquisa não é detalhar os elementos propostos, por este motivo não foram definidos material ou detalhamento do mecanismo de abertura, ficando a proposta de fazê-lo em trabalhos futuros.

Foram concebidos, então, três desenhos elementos vazados. Estes foram aplicados aos três tipos de paredes já existentes no prédio da FAU que possuem as venezianas, determinadas na figura 34, que mostra as vistas externas das venezianas. As paredes 1 e 3 mostradas nas imagens são presentes nas salas estudadas, e a parede 2, embora não esteja presente nelas, se encontra em outras salas do edifício, e, portanto, foram utilizadas em outros pontos do modelo. Os elementos foram chamados de “quadrado”, “hexágono” e “escama”, e foram aplicados às paredes conforme as figuras 35, 36 e 37 respectivamente. Na tabela 2 estão indicadas as áreas iluminantes de cada modelo aplicado às paredes indicadas.

Tabela 2 - Área iluminante na aplicação de cada modelo nas paredes presentes na FAU.

Elemento	Área Iluminante (m <sup>2</sup> )		
	Parede 1	Parede 2	Parede 3
Venezianas	2,44	3,66	3,37
Quadrado	4,64	7,43	6,27
Hexágono	4,72	7,51	6,32
Escamas	4,79	7,37	6,35

Figura 34: Paredes existentes na FAU com as venezianas originais.

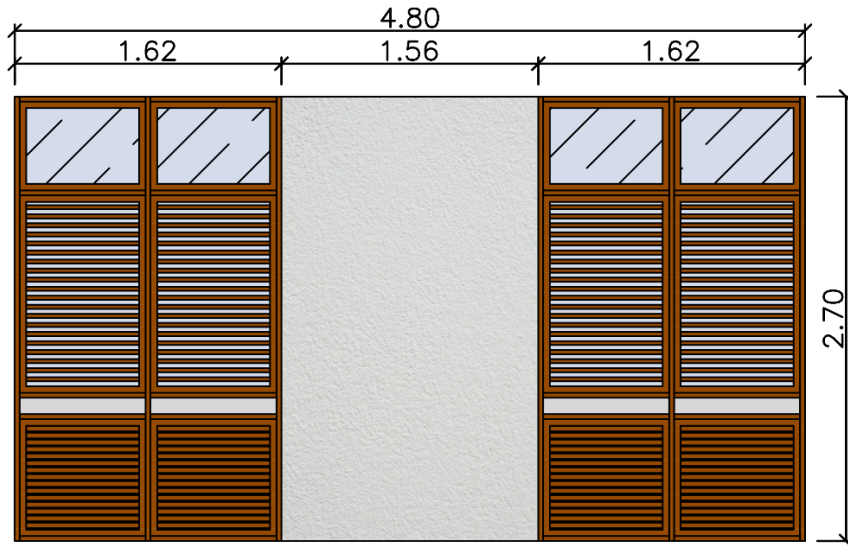
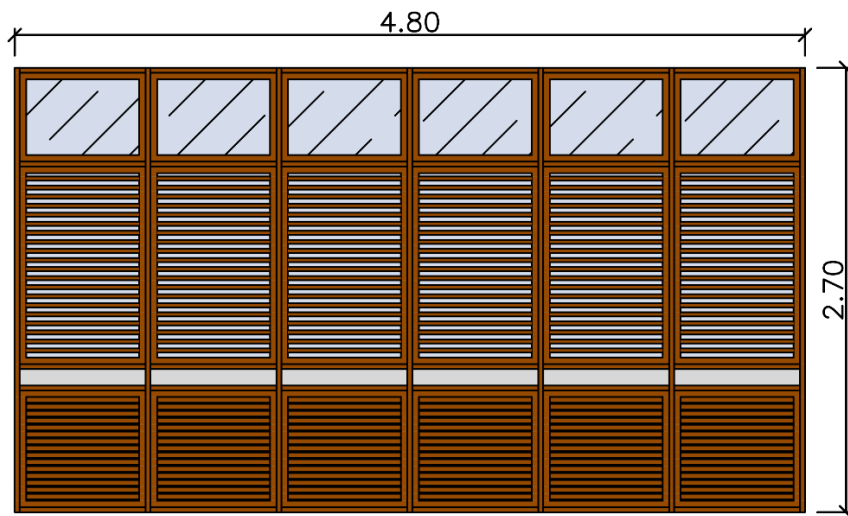
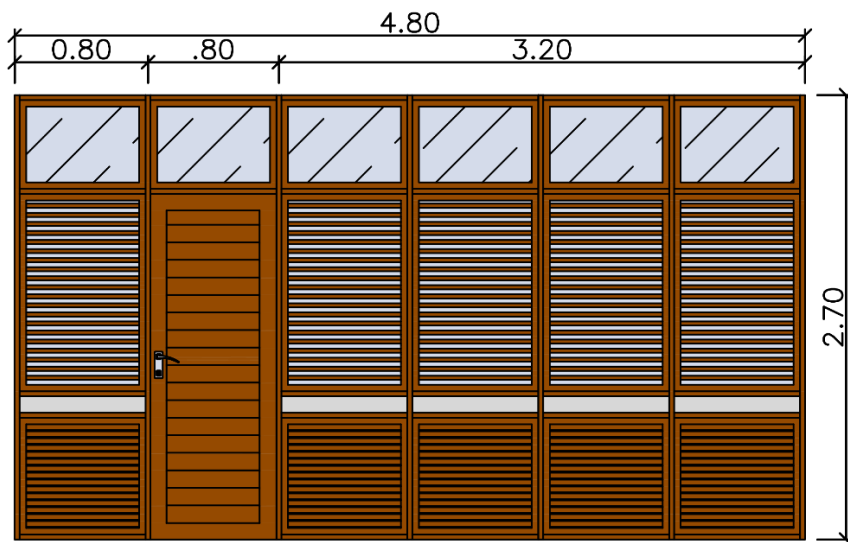
**PAREDE 1****PAREDE 2****PAREDE 3**

Figura 35: Paredes existentes na FAU com aplicação do elemento “quadrado”.

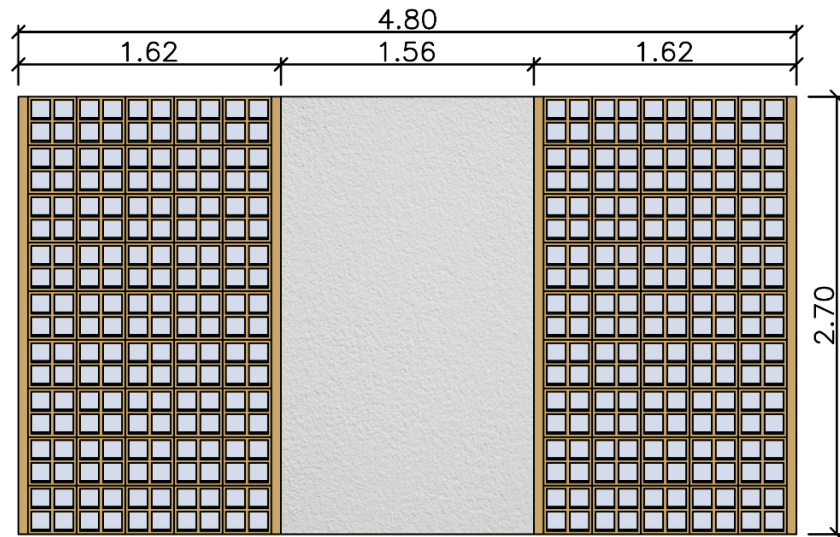
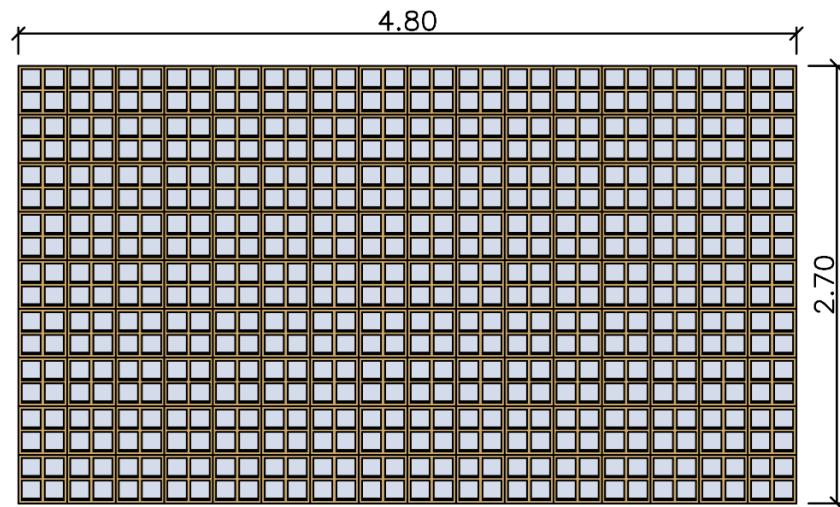
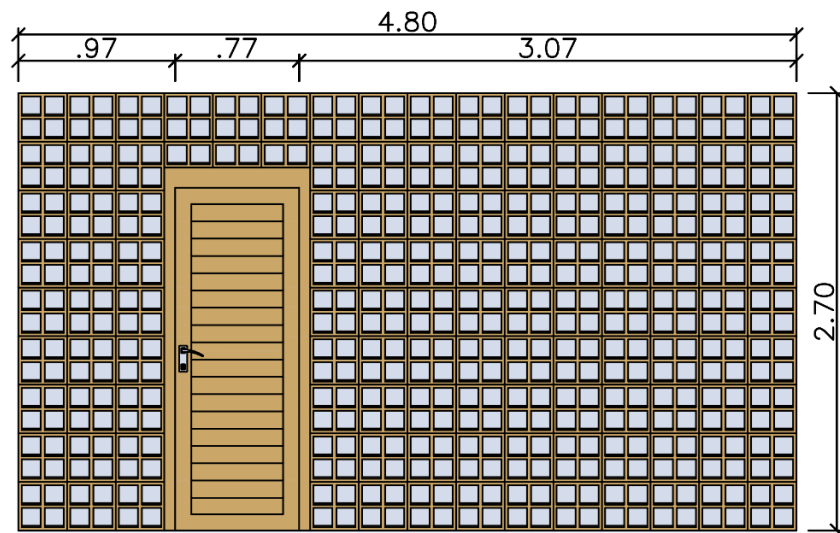
**PAREDE 1****PAREDE 2****PAREDE 3**

Figura 36: Paredes existentes na FAU com aplicação do elemento "hexágono".

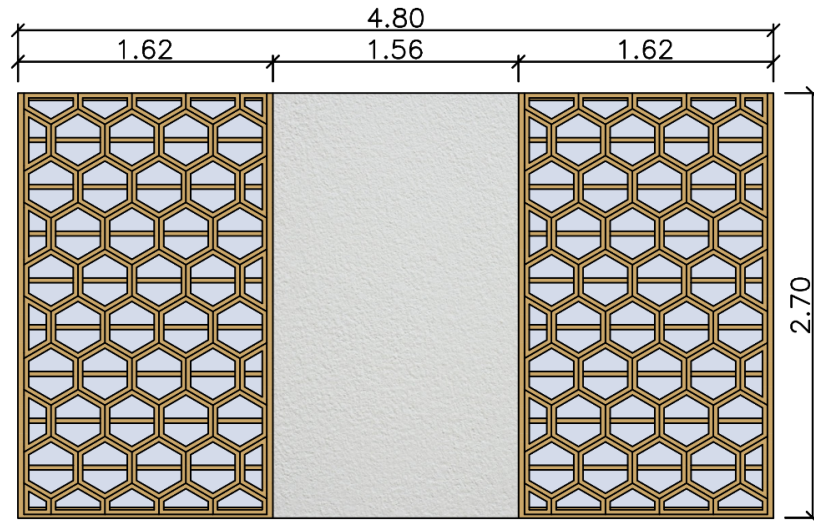
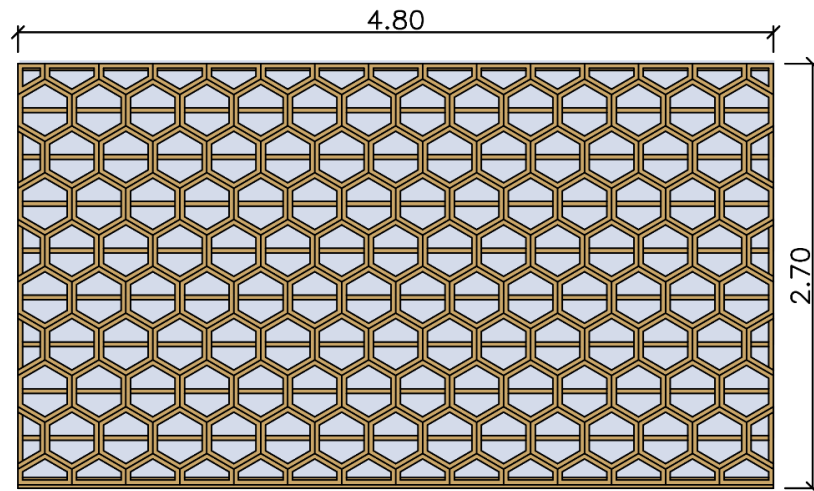
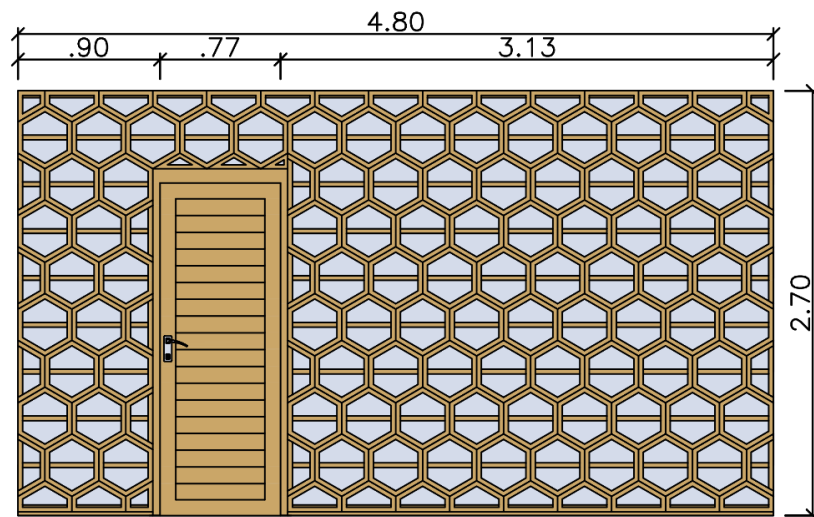
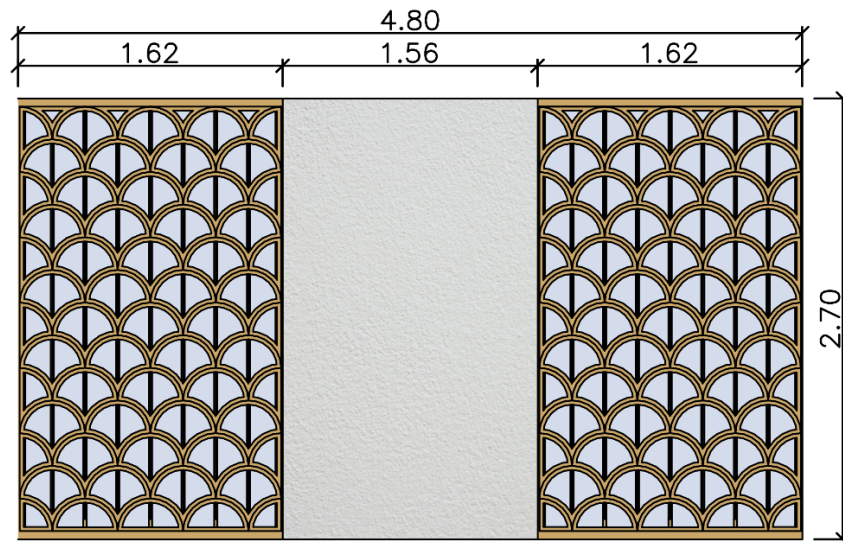
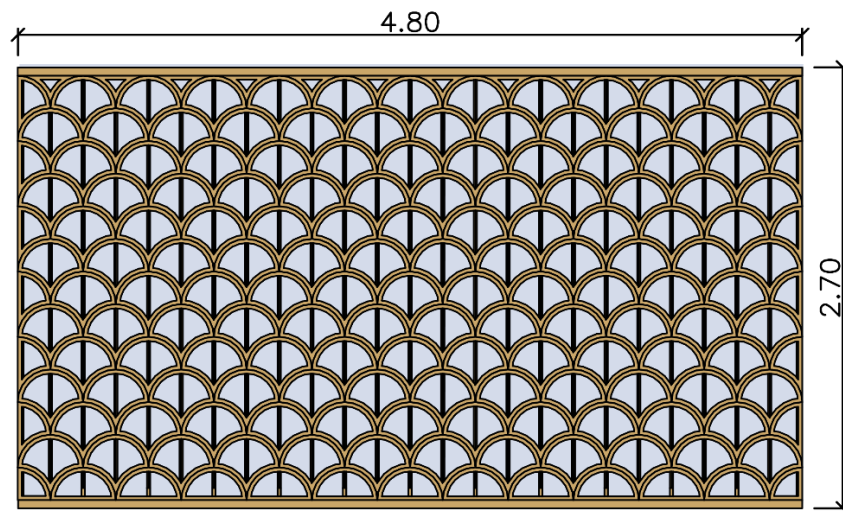
**PAREDE 1****PAREDE 2****PAREDE 3**

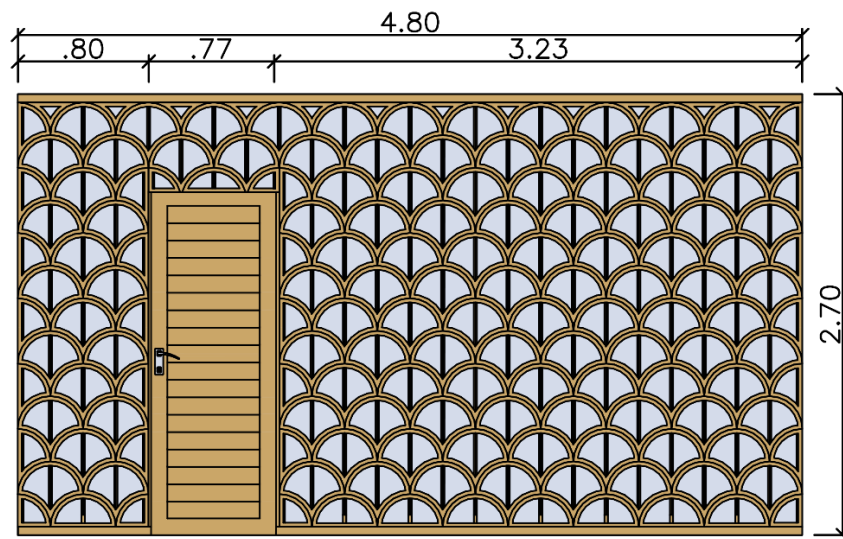
Figura 37: Paredes existentes na FAU com aplicação do elemento "escama".



PAREDE 1



PAREDE 2



PAREDE 3

O elemento “quadrado” consiste de um módulo com quatro aberturas, com as dimensões especificadas na figura 38, e com peças que abrem horizontalmente na base inferior de cada abertura, conforme indicado na figura 39.

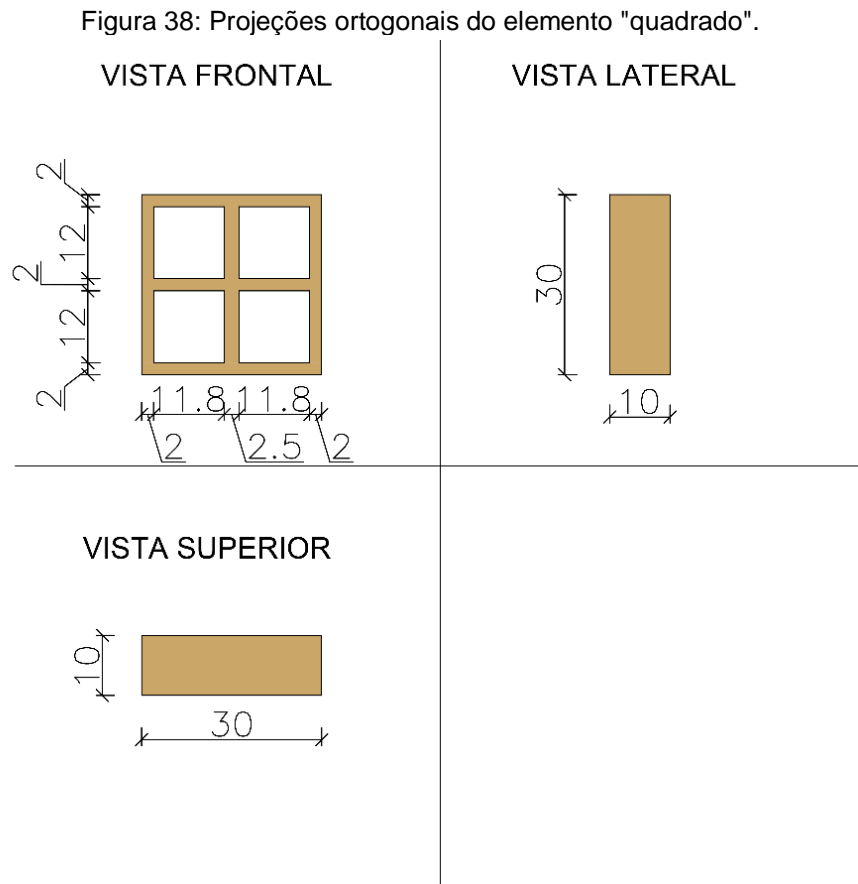
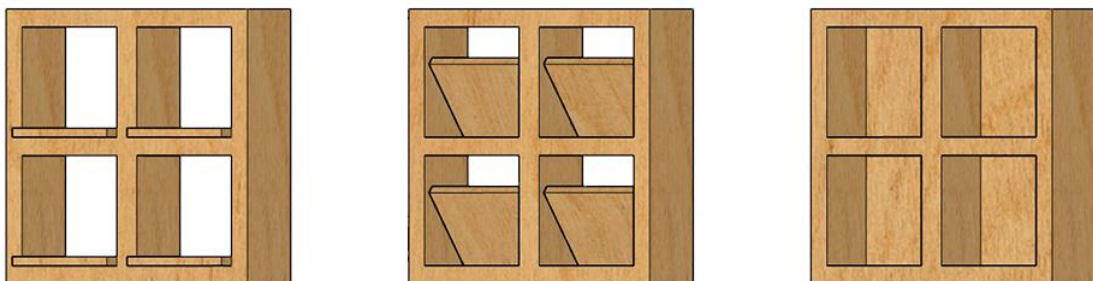


Figura 39: Demonstração do mecanismo de fechamento do elemento "quadrado".



O elemento “hexágono” consiste de um módulo com duas aberturas, com as dimensões especificadas na figura 40, e com peças que abrem horizontalmente no centro do módulo, conforme indicado na figura 41.

Figura 40: Projeções ortogonais do elemento "hexágono".

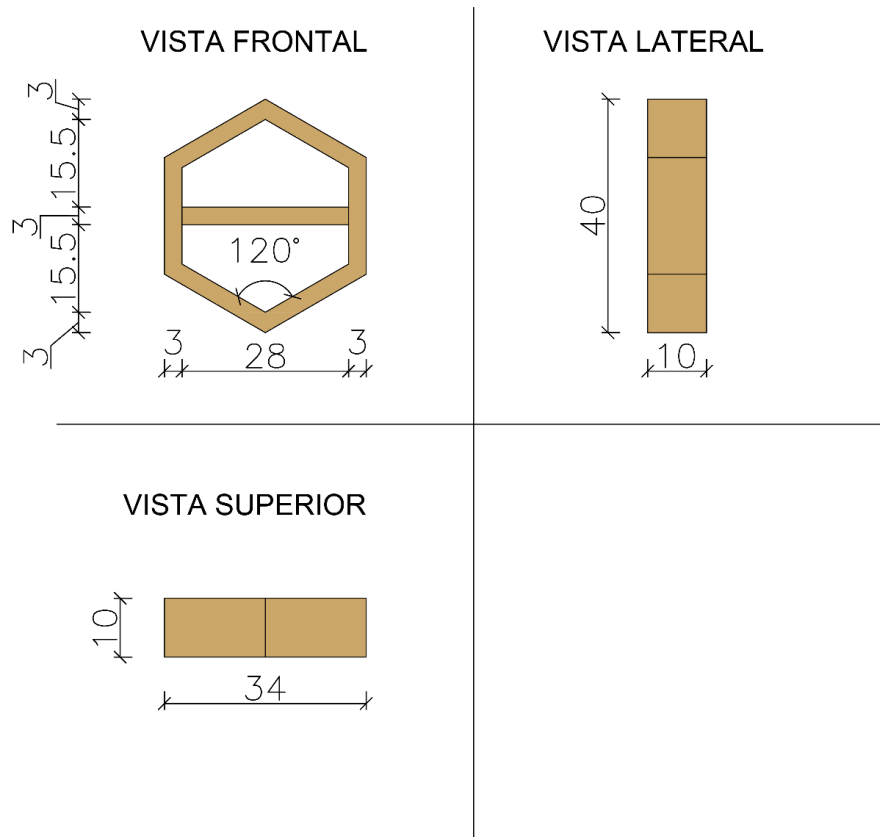
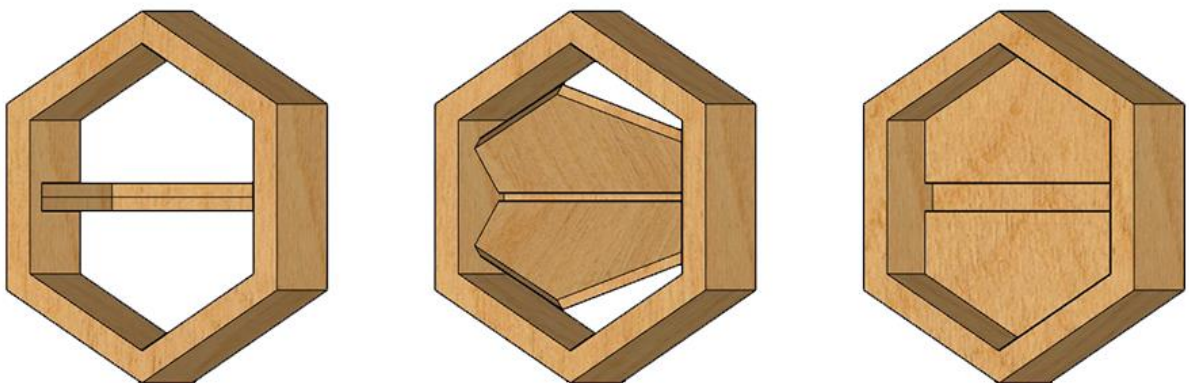


Figura 41: Demonstração do mecanismo de fechamento do elemento "hexágono".



O elemento “escama” consiste de um módulo com duas aberturas, com as dimensões especificadas na figura 42, e com peças que abrem verticalmente no centro do módulo, conforme indicado na figura 43.

Figura 42: Projeções ortogonais do elemento "escama".

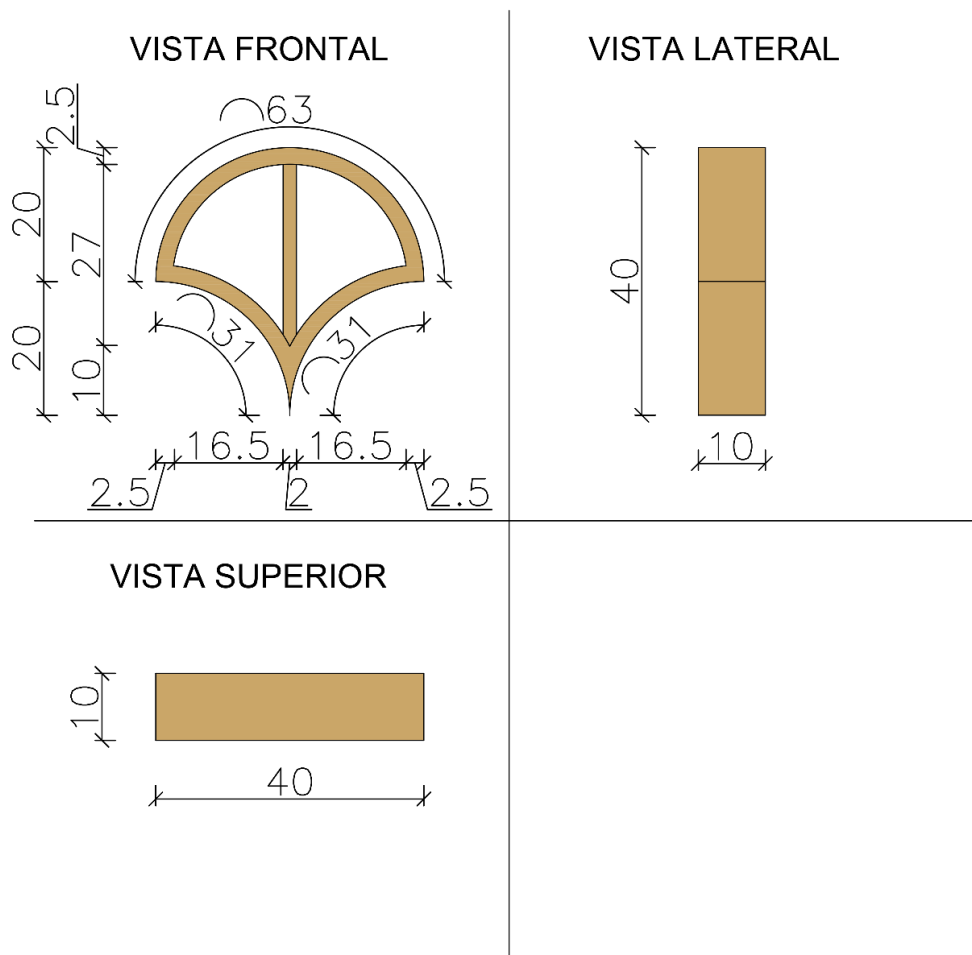
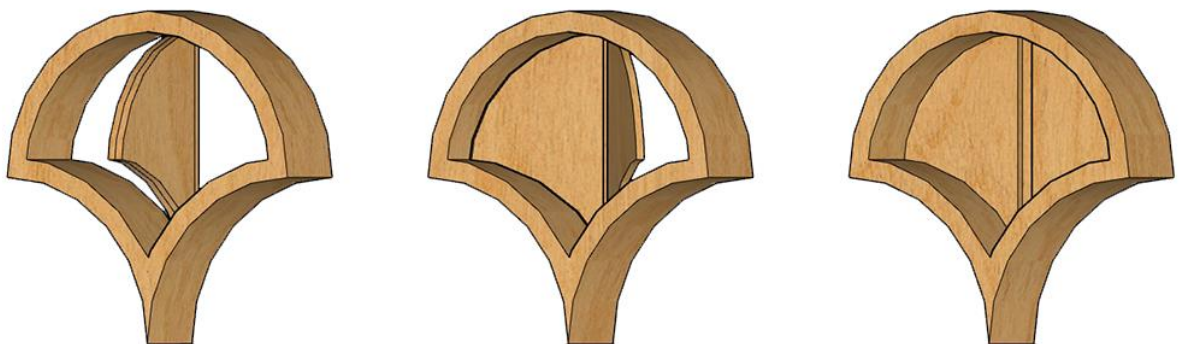


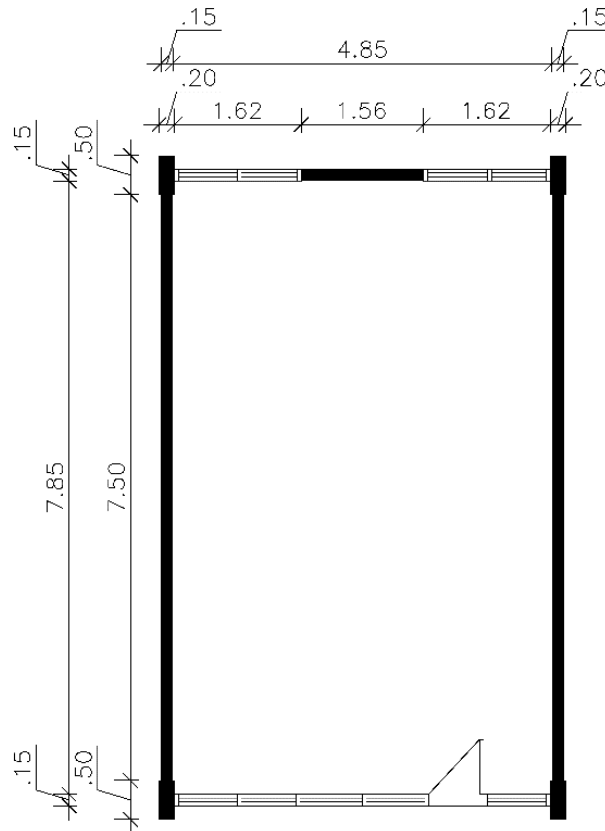
Figura 43: Demonstração do mecanismo de fechamento do elemento "escama".



## 5.2 MODELAGEM DAS SALAS NO SOFTWARE DIALUX EVO

As salas a serem avaliadas foram modeladas no *software* DIALux evo 8.2 conforme as dimensões reais de 4,85m de largura, 7,85m de comprimento e pé direito de 3,30m, especificadas na figura 44.

Figura 44: Dimensões das salas analisadas em planta.



As características de refletância dos materiais empregados na modelagem das salas foram definidas pelas configurações automáticas do programa *DIALux evo*. Sendo assim, os materiais utilizados e suas respectivas a porcentagens de refletância são definidos na tabela 3. O plano de trabalho foi simulado com retângulos de cor branca, posicionados na altura das mesas. As esquadrias foram fechadas com vidraças com índice de transmissão de 90% (também indicado pelo *software*). Dessa forma, o prédio da faculdade foi modelado no *software* (figura 45), com o entorno com gramado e árvores presentes na realidade.

Tabela 3: Índices de refletância dos materiais no modelo.

MATERIAL	APLICAÇÃO	ÍNDICE DE REFLETÂNCIA
Pintura branca	Paredes internas, externas e teto	80%
Concreto polido	Pilares e Vigas	30%
Placas de concreto	Piso	25%
Pintura marrom	Venezianas	5%
Fórmica branca acinzentada	Fechamento inferior das venezianas	60%
Cor do plano de trabalho	Plano de trabalho	70%

Figura 45: Vista do modelo gerado no *software DIALux evo*.



A partir do modelo do edifício com a aplicação do elemento “veneziana” simulando as características reais do prédio e de seu entorno, foram gerados os modelos com a aplicação dos elementos propostos “quadrado”, “hexágono” e “escama”, que foram simulados com uma cor marrom claro, material de maior índice de reflexão que as venezianas originais, de 46%. Em todas as simulações os elementos foram simulados totalmente abertos.

Foram definidas no programa as superfícies de cálculo a nível do plano de trabalho, isto é, a altura das mesas e carteiras utilizadas nas salas, de 0,67m do chão, além de superfícies nas paredes laterais (sem esquadrias), chão e teto.

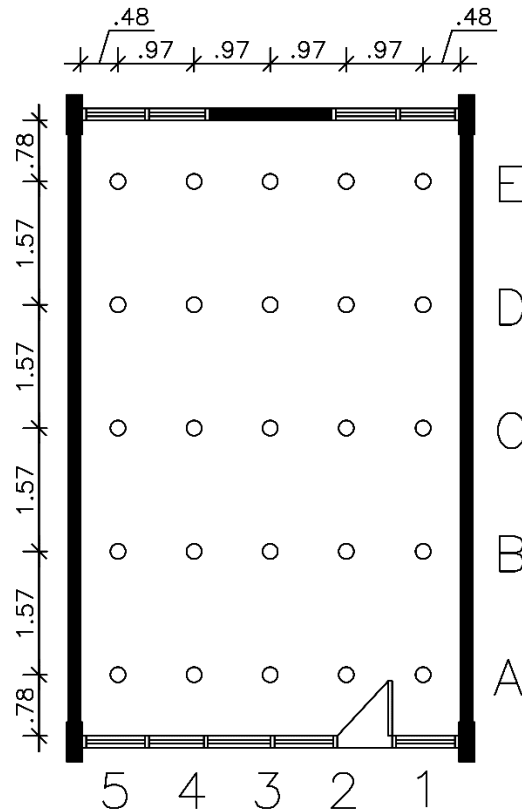
### 5.3 AFERIÇÃO DAS SIMULAÇÕES

Os resultados das simulações realizadas com os elementos “veneziana” foram então comparados com os dados cedidos pelo Laboratório de Acústica (LAAC) da FAU/UFPa, que entre os anos de 2017 e 2018 realizou, com a ajuda dos então alunos Nickolas Pinheiro e Lícia Santiago e orientação da Dr<sup>a</sup>. Prof<sup>a</sup>. Elcione Moraes, um artigo denominado “Eficiência da iluminação lateral com e sem venezianas”, e que durante a elaboração deste trabalho estava em processo de publicação.

Para a elaboração do artigo, a equipe realizou medições nas salas de aula da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo seguindo as recomendações estabelecidas pela NBR 15215-4/2004. Assim, foram feitas 25 marcações no chão com o espaçamento de 0,97 m entre os pontos e 0,78 m da primeira fileira à menor parede e 0,48 m da primeira fileira à maior parede, e nomeados conforme indicado pela figura 46.

As medições foram realizadas com as venezianas completamente abertas, paralelamente ao chão. Com auxílio de dois Luxímetros, posicionados a 0,67 metros do piso, foi tomada uma medição em cada ponto.

Figura 46: Posicionamento dos pontos de medição na sala de aula.



As medições foram realizadas em ambas as salas estudadas neste trabalho (Sala Norte e Sala Sul), em quatro meses no decorrer de um ano entre os meses de junho de 2017 e março de 2018. As datas das medições foram os solstícios e equinócios entre esses meses, e os horários foram pela manhã e pela tarde. Na tabela 4 estão relacionadas as datas e horários exatos de cada medição.

Tabela 4: Datas e horários das medições.

DATA	PERÍODO	HORÁRIO (MANHÃ)	HORÁRIO (TARDE)
23 de junho de 2017	Solstício de inverno	11:30h	14:50h
22 de setembro de 2017	Equinócio de primavera	10:50h	13:40h
22 de dezembro de 2017	Solstício de verão	10:07h	15:20h
20 de março de 2018	Equinócio de outono	10:10h	14:00h

Fonte: Dados cedidos pelo LAAC, adaptado pela autora, 2019.

Segundo os autores, os horários não foram exatos em todos os dias por fatores como a disponibilidade das salas de aula e condições do céu no momento (as medições não foram realizadas em horários nos quais havia chuva ou céu com extrema nebulosidade). Os valores medidos em todos os pontos foram transferidos a uma tabela no formato Excel. Esses dados primários podem ser conferidos no Apêndice A.

As simulações de iluminação natural realizadas com os elementos “veneziana” modelados no *software DIALux evo* buscaram retratar com a maior precisão a situação real da iluminação aferida pelos dados de medições cedidos pelo LAAC. Assim, determinou-se uma superfície de cálculo com mesma altura (0,67m do chão), com uma grade de 25 pontos de mesmo posicionamento que os pontos determinados nas medições sob determinação da norma, e as simulações foram realizadas nos mesmos dias das medições, sob condição de céu encoberto, pois este tipo de céu é comumente utilizado em pesquisas por ser a condição de céu mais uniforme (KREMER, 2002). No entanto, o *software* não permite configurar as simulações nível de precisão de minutos, portanto os horários das medições foram arredondados para a hora mais próxima que o software permitia. Assim, as situações simuladas foram realizadas nos períodos de acordo com a tabela 5.

Tabela 5: Datas e horários das simulações.

DATA	PERÍODO	HORÁRIO (MANHÃ)	HORÁRIO (TARDE)
23 de junho	Solstício de inverno	11h	15h
22 de setembro	Equinócio de primavera	11h	14h
22 de dezembro	Solstício de verão	10h	15h
20 de março	Equinócio de outono	10h	14h

Fonte: autora, 2020.

Tal qual as medições, os valores medidos em todos os pontos foram transferidos a uma tabela no formato Excel, e os dados primários podem ser conferidos no Apêndice B.

Elaborou-se, então, os gráficos das figuras 47 e 48 com os valores obtidos nas simulações (em verde) com as medições (em laranja), retirando as iluminâncias máximas ( $E_{máx}$ ), médias ( $E_{mín}$ ) e mínimas ( $E_{mín}$ ) de cada período e em cada tabela.

Figura 47: Gráfico de comparação de iluminâncias entre medições e simulações para a Sala Norte.

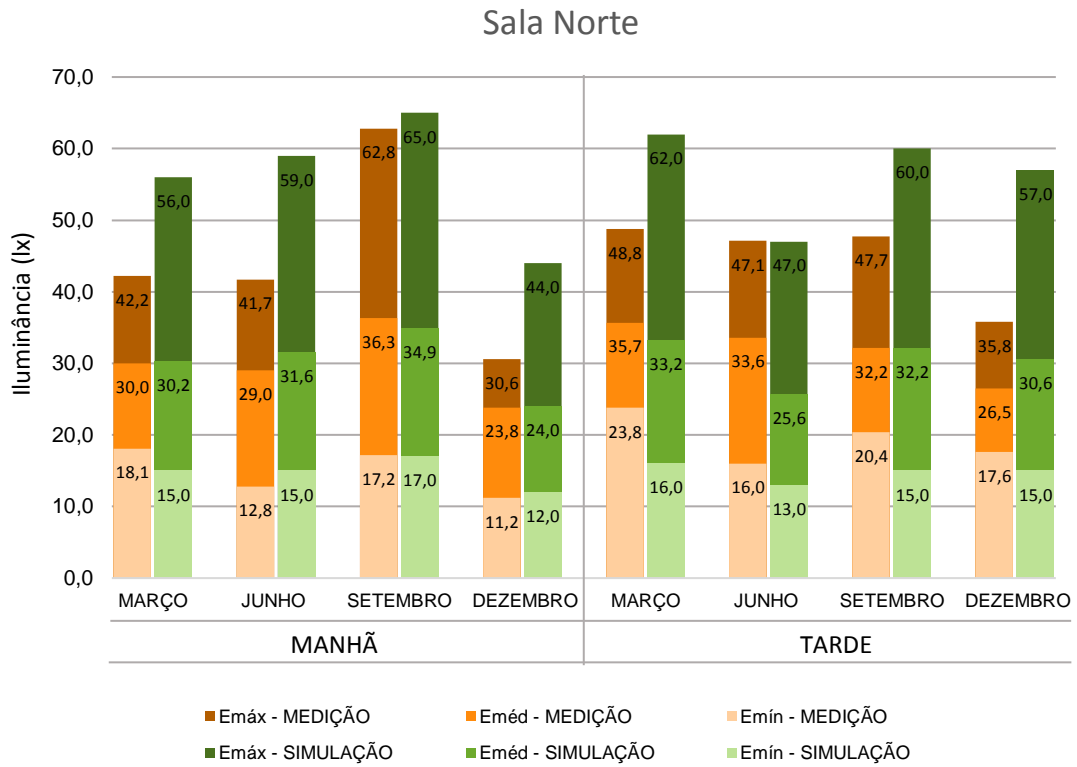
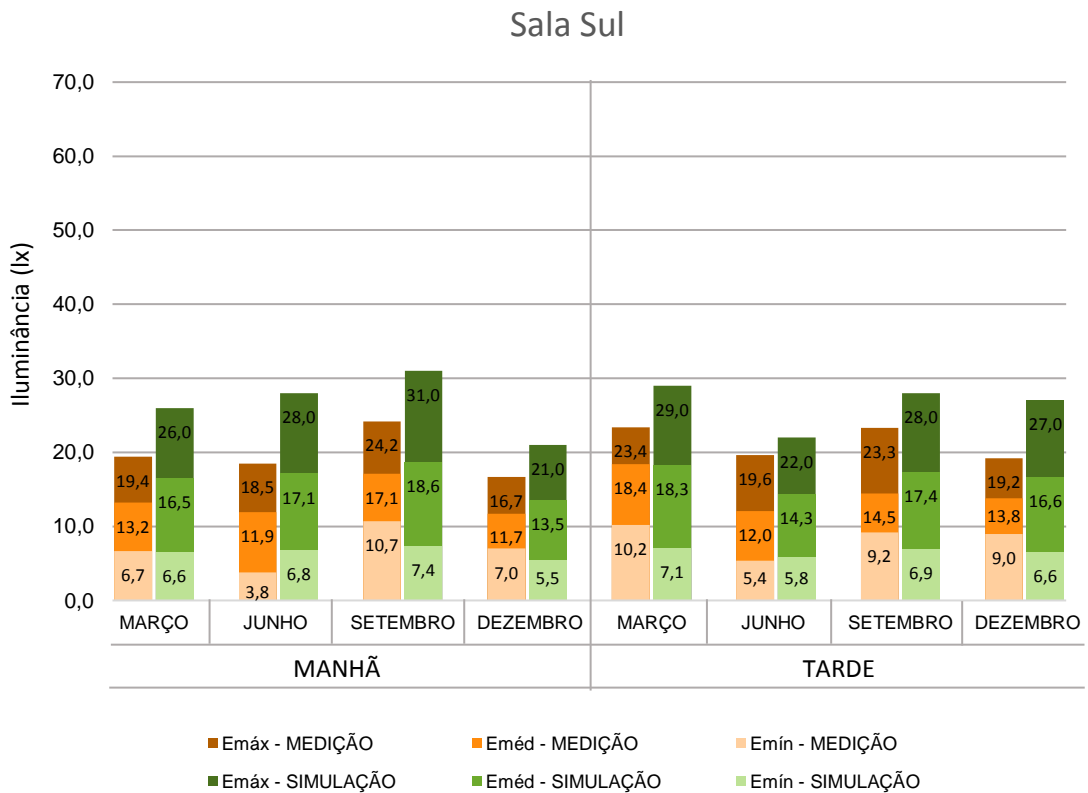


Figura 48: Gráfico de comparação de iluminâncias entre medições e simulações para a Sala Sul.



Os resultados obtidos de  $E_{méd}$  e  $E_{mín}$  com as simulações são bastante próximos aos dados de medições. No entanto, os valores obtidos de  $E_{máx}$  são bem mais altos nas simulações, especialmente na Sala Norte, com exceção do mês de setembro pela manhã. Apesar do Projeto 02:135.02-004 (ABNT, 2003) indicar que o erro máximo na verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações deva ser de 10%, observa-se que há muitas variáveis na situação analisada que se encontram fora do alcance da simulação, além da limitação dos dados coletados pelas medições. Como aponta Cabús (1997):

“Quando o céu não está completamente encoberto, segundo IESNA (1993a), a distribuição de luminâncias do céu pode variar rapidamente. SCARAZZATO (1995) reforça, por sua vez, que a luz natural é absolutamente inconstante e sofre sensíveis variações diárias e sazonais. De acordo com PELOTTO NETO (1980), essa é uma característica inconveniente pois no decorrer de poucos minutos pode ocorrer uma grande variação na iluminação, apenas com a passagem de nuvens”. (CABÚS, 1997)

Dessa forma, entende-se que variáveis como condições exatas de céu e iluminação externa, posicionamento e sazonalidade da vegetação no entorno e exatidão dos horários podem ser dispares entre as medições e simulações especificamente no edifício estudado, uma vez que o *software* utilizado não permite pará-las com 100% de precisão.

Tomadas essas considerações, é possível observar nos gráficos que os resultados obtidos com as simulações seguem um padrão de comportamento ao longo do ano e dos períodos analisados bastante similar às medições, e com valores de iluminação na mesma faixa de grandeza. Por isso, considerou-se as simulações realizadas pelo *software DIALux evo* como representações satisfatórias das condições reais das salas de aula da faculdade.

Ademais, os dados do desempenho de cada elemento proposto foram comparados aos dados obtidos nas simulações do elemento “veneziana”, e, portanto, nas mesmas exatas condições das variáveis acima explanadas, validando, assim, esses resultados.

#### 5.4 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO E ANÁLISE DAS SIMULAÇÕES

Para a análise dos dados resultantes das simulações realizadas com os elementos propostos, aplicou-se princípios matemáticos provenientes da estatística a fim de examinar o desempenho da iluminação natural nas salas estudadas, além de uma

análise visual das imagens geradas pelo *software DIALux evo*. Na análise foram utilizados três parâmetros: a iluminância, o coeficiente de variação e o direcionamento da luz.

#### 5.4.1 Iluminância no plano de trabalho

Quanto à iluminância, foram analisados os valores das iluminâncias mínima ( $E_{\min}$ ), máxima ( $E_{\max}$ ) e média ( $E_{\text{méd}}$ ) obtidos nos 25 pontos em cada sala e em cada um dos horários nos meses escolhidos. Como referência de para a avaliação do desempenho de cada uma das situações, tomou-se a recomendação da norma NBR5413 (ABNT, 1992) que trata da Iluminância de interiores. Esta normativa indica que a iluminância média no plano de trabalho para sala de aulas nas condições das salas estudadas deve ser de 300 lx.

#### 5.4.2 Coeficiente de variação

Quanto ao coeficiente de variação, Cabús (1997) estabelece como um parâmetro de desempenho da distribuição de iluminâncias em um ambiente, e afirma que quanto menor for seu valor, melhor será esse desempenho. A grande vantagem do coeficiente de variação é caracterizar a dispersão dos dados em termos relativos ao seu valor médio (KREMER, 2002). O coeficiente de variação é utilizado para analisar o desempenho do ambiente quanto a variabilidade dos dados com vistas a distribuição interna da iluminação. Ele é de fundamental importância para indicar o grau de variação existente no conjunto dos dados medidos para cada situação e ambiente. O coeficiente de variação (c.v.) é dado em porcentagem, em função do desvio padrão ( $s$ ) e da iluminância média ( $E_{\text{méd}}$ ), conforme a equação a seguir, definida por Cabús (1997):

$$c. v. = \frac{s}{E_{\text{méd}}} \times 100\%. \quad [1]$$

#### 5.4.3 Direcionamento da luz

Por fim, foram analisadas visualmente as imagens obtidas pelo *software DIALux evo*, observando visualmente as manchas geradas nas superfícies de cálculos posicionadas nas paredes, chão e teto das salas. Essas imagens consistem em perspectivas direcionadas para a parede externa, por esta ter sido verificada como a fonte de penetração da maior parte da luz natural nos ambientes estudados.

Como cada sistema tem a sua geometria peculiar e, por conta disso, controla a radiação direta e ilumina os ambientes internos de forma diferenciada (MACÊDO, 2002), verificou-se como as configurações geométricas de cada elemento influenciaram do direcionamento da luz natural nas superfícies internas das salas.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta sessão apresenta os resultados obtidos a partir da pesquisa realizada, de acordo com os objetivos e metodologia propostos. Os tópicos 6.1, 6.2 e 6.3 referem-se às análises do desempenho luminoso dos elementos “quadrado”, “hexágono” e “escama” em comparação ao desempenho do elemento “veneziana”. O tópico 6.4 refere-se à comparação do desempenho luminoso entre os três elementos propostos.

### 6.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO DO ELEMENTO “QUADRADO”

#### 6.1.1 Iluminância no Plano de Trabalho

A tabela 6 apresenta os valores da iluminância mínima ( $E_{\text{mín}}$ ), média ( $E_{\text{méd}}$ ) e máxima ( $E_{\text{máx}}$ ) no plano de trabalho registrados nas salas Norte e Sul nos meses de março, junho, setembro e dezembro, nos períodos manhã e tarde para o elemento “quadrado”. Os dados primários completos podem ser encontrados no Apêndice C.

Tabela 6: Iluminâncias mínimas, máximas e médias (em lux) no nível do Plano de Trabalho obtidas com o modelo "quadrado".

VALORES PARA O MODELO "QUADRADO" (EM LUX)								
SALA NORTE								
MANHÃ					TARDE			
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.
$E_{\text{mín}}$	20,0	21,0	23,0	17,0	22,0	18,0	21,0	20,0
$E_{\text{méd}}$	49,6	51,9	57,5	39,1	54,7	42,0	52,9	50,3
$E_{\text{máx}}$	139,0	146,0	163,0	107,0	154,0	116,0	149,0	141,0
SALA SUL								
MANHÃ					TARDE			
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.
$E_{\text{mín}}$	11,0	11,0	11,0	9,4	11,0	9,7	11,0	11,0
$E_{\text{méd}}$	30,4	31,4	34,5	24,6	32,9	26,1	32,1	30,6
$E_{\text{máx}}$	82,0	86,0	95,0	63,0	90,0	69,0	88,0	83,0

Em ambas as salas, os maiores valores de  $E_{\text{méd}}$  foram alcançados no mês de setembro pela manhã, sendo estes 57,5 lx na Sala Norte e 34,5 lx na Sala Sul. Os

menores valores de  $E_{méd}$  em ambas as salas foram registrados no mês de dezembro pela manhã, sendo estes 39,1 lx na Sala Norte e 24,6 lx na Sala Sul.

Os gráficos das figuras 49 e 50 comparam os resultados obtidos nas simulações dos elementos “veneziana” (em laranja) e “quadrado” (em verde) nas salas Norte e Sul, respectivamente. Eles mostram que com o uso do elemento “quadrado” houve um aumento nos valores de iluminância em todos os meses e horários analisados, em ambas as salas.

Figura 49: Gráfico de comparação entre  $E_{mín}$ ,  $E_{méd}$  e  $E_{máx}$  no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "quadrado", para a Sala Norte.

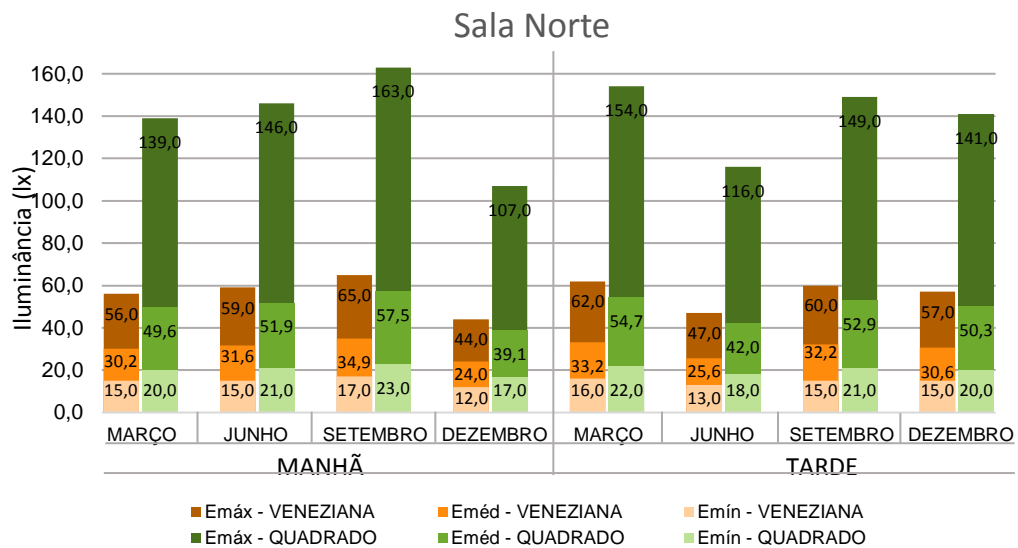
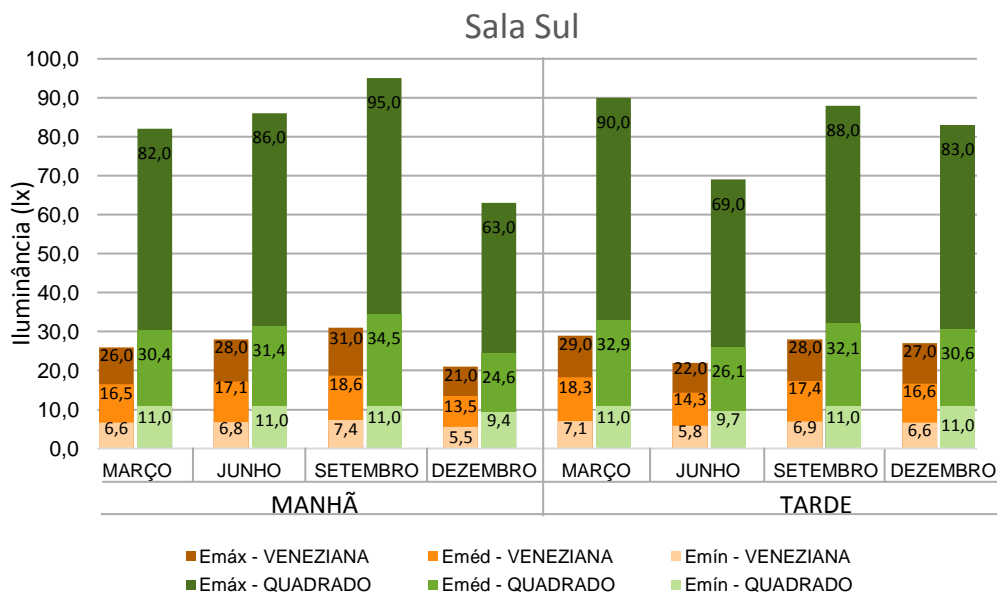


Figura 50: Gráfico de comparação entre  $E_{mín}$ ,  $E_{méd}$  e  $E_{máx}$  no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "quadrado", para a Sala Sul.



Os valores da  $E_{\min}$  foram os que sofreram menor aumento, mas ainda assim bastante expressivos, em média o acréscimo foi de 137% na Sala Norte e de 162% na Sala Sul. Já os valores da  $E_{\max}$  foram os que tiveram o maior aumento, uma média de 247,6% na Sala Norte e de 309,3% na Sala Sul. Quanto à  $E_{\text{méd}}$ , a Sala Norte teve um incremento médio de 164,2% em todas as situações analisadas, já na Sala Sul, esse incremento foi de 183,2%.

Os resultados em ambas as salas são positivos com a implementação do elemento “quadrado”, sendo a Sala Sul a mais beneficiada pela troca. No entanto, embora se alcance em ambas, em todos os períodos, um acréscimo considerável da iluminância, o valor médio de 300 lx no plano de trabalho recomendado pela NBR 5413/1992 (ABNT, 1992) não é atingido em nenhum ponto das salas. Entretanto, vale ressaltar que os valores descritos na norma consideram a iluminação global da sala, ou seja, iluminação natural suplementada com a iluminação artificial. Assim, mesmo com o maior aproveitamento da luz natural as salas analisadas precisarão de um sistema luminotécnico para alcançar a iluminância média satisfatória.

### 6.1.2 Distribuição da luz no plano de trabalho

Para a análise da distribuição da luz no plano de trabalho, resumiu-se na

Tabela 7 e nas figuras 51 e 52 os valores do coeficiente de variação (cv) e a distribuição em planta da iluminância no plano de trabalho, respectivamente, obtidos nas simulações com os elementos “veneziana” e “quadrado”, para as Salas Norte e Sul.

Tabela 7: Coeficientes de variação: elementos “veneziana” e “quadrado” para as salas Norte e Sul.

	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - SALA NORTE (em %)								MÉDIA
	MANHÃ				TARDE				
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	
VENEZIANA	38,28	39,16	39,14	36,69	39,21	37,71	39,19	38,79	38,52
QUADRADO	71,03	71,26	72,15	68,26	71,66	69,24	71,61	70,83	70,75
	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - SALA SUL (em %)								MÉDIA
	MANHÃ				TARDE				
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	
VENEZIANA	35,16	35,47	35,98	34,13	37,02	34,39	35,40	35,54	35,39
QUADRADO	66,56	68,30	69,50	61,71	68,69	63,76	68,36	66,97	66,73

Figura 51: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Norte com o elemento “veneziana” (acima) e “quadrado” (abaixo).

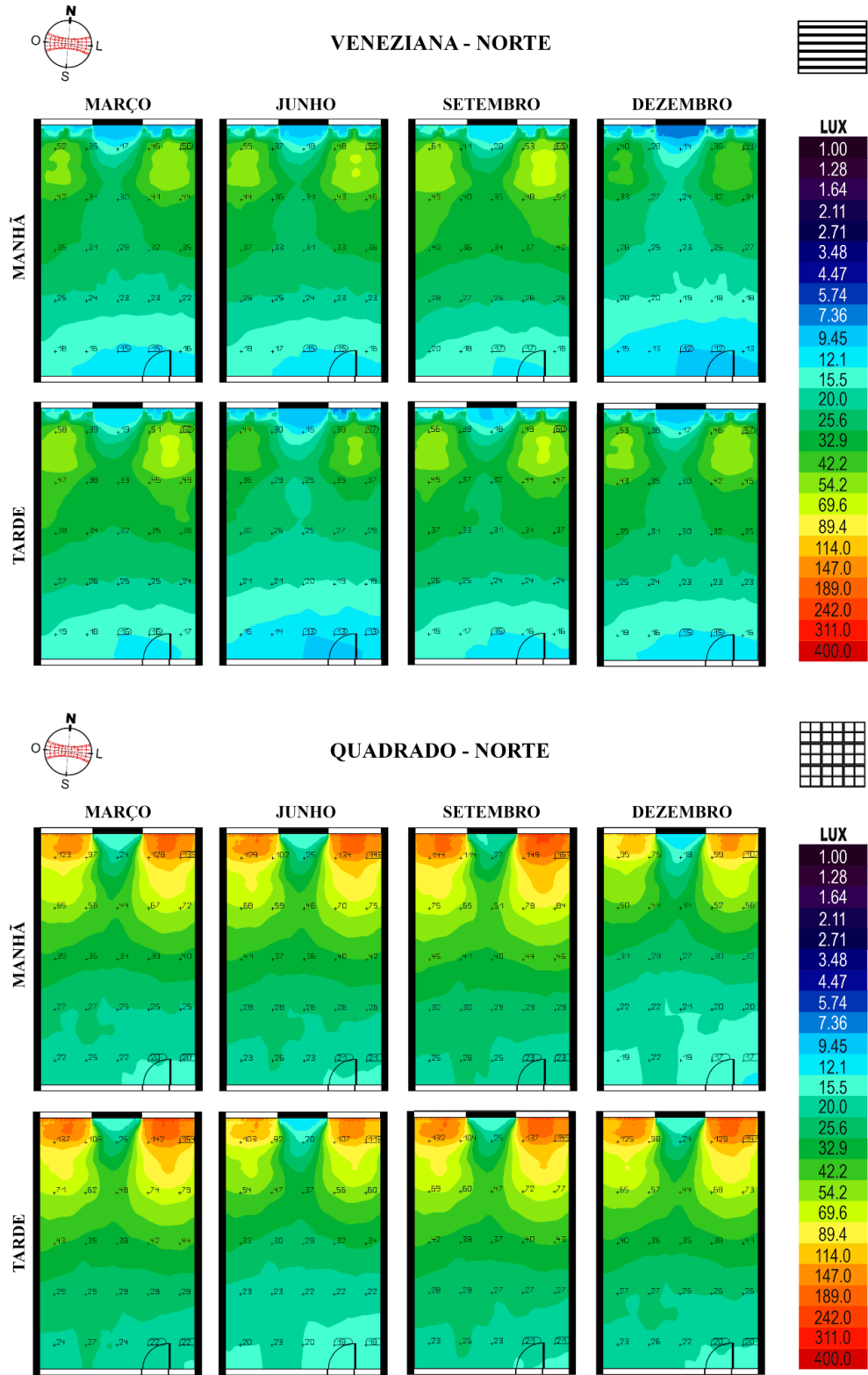
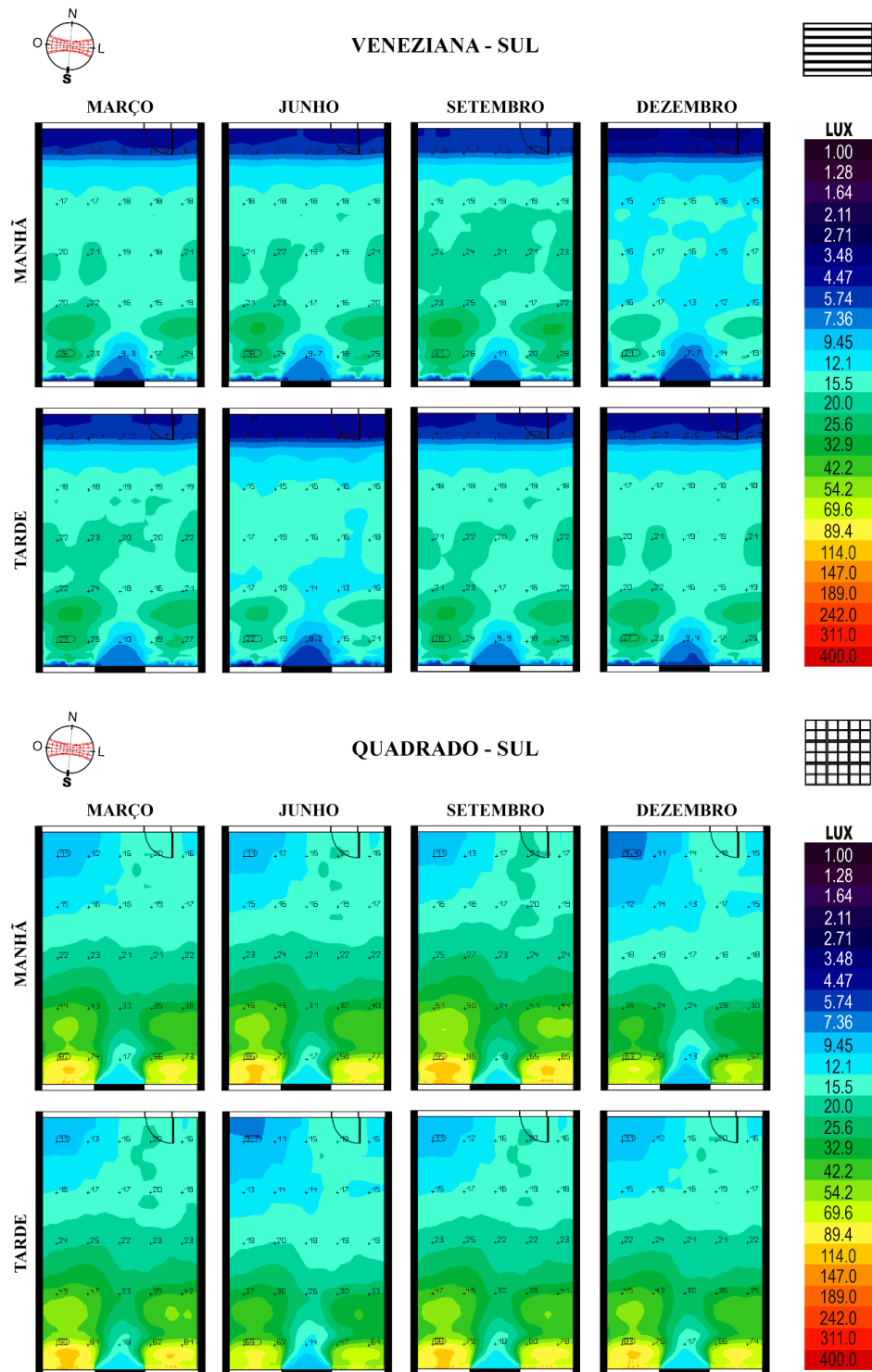


Figura 52: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento “veneziana” (acima) e “quadrado” (abaixo).



Embora os níveis de iluminância do elemento “quadrado” atinjam níveis mais altos, como visto no tópico 6.1.1, a distribuição da luz na sala se torna mais heterogênea com esse elemento, evidenciada pelos valores maiores do coeficiente de variação (tabela 7) em relação ao elemento “venezianas”. Isso acontece pois, embora haja

aberturas em ambas as paredes externa e interna das salas, a maior parte da luz adentra o ambiente pelas aberturas da parede externa (oposta à porta), tendência que é possível visualizar nas figuras. Dessa forma, o aumento da iluminância adquirida pela troca do elemento “veneziana” pelo elemento “quadrado” não é proporcional na sala inteira, fazendo com que os pontos mais próximos à parede externa possuam níveis muito mais altos que os pontos mais distantes à essa parede, causando uma maior variação e, conseqüentemente, uma perda na distribuição da luz nos ambientes.

Segundo Garrocho (2005), inevitavelmente, com a luz solar direta pode ocorrer a presença de ofuscamento nos ambientes próximos das aberturas e no seu entrono, sendo, assim, inevitável a não uniformidade na distribuição da iluminação em todos os horários e dias típicos simulados. A distribuição da luz também tem relação direta com a condição do céu, quanto mais nublado mais uniformidade haverá no ambiente, e menos intensidade luminosa. Essa diferença na distribuição, devido a distância entre o elemento iluminante e o plano de trabalho, deverá ser corrigida com a implementação da iluminação artificial.

### **6.1.3 Alcance da Iluminação**

Para a análise do alcance da luz nas superfícies internas do ambiente, observou-se as figuras 53 e 54, que mostram a distribuição em perspectiva da iluminância nas superfícies das paredes, chão e teto, geradas nas simulações com os elementos “veneziana” e “quadrado” para as Salas Norte e Sul, respectivamente.

As imagens indicam que a geometria do elemento “veneziana” permite que a parte superior das paredes alcance níveis de iluminância mais altos próximos às aberturas, devido às chamadas “bandeiras” presentes sobre as lâminas das venezianas, chegando a atingir 200 lx na Sala Norte. No entanto, a parte opaca abaixo das lâminas faz com que os níveis de iluminância na superfície inferior das paredes e no chão próximos às aberturas seja extremamente baixo, em ambas as salas. Os níveis de iluminância chegam aos valores mais baixos no teto, especialmente na Sala Sul, onde essa superfície não possui manchas que indiquem níveis acima de 10 lx.

Figura 53: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Norte com os elementos “veneziana” (acima) e “quadrado” (abaixo).

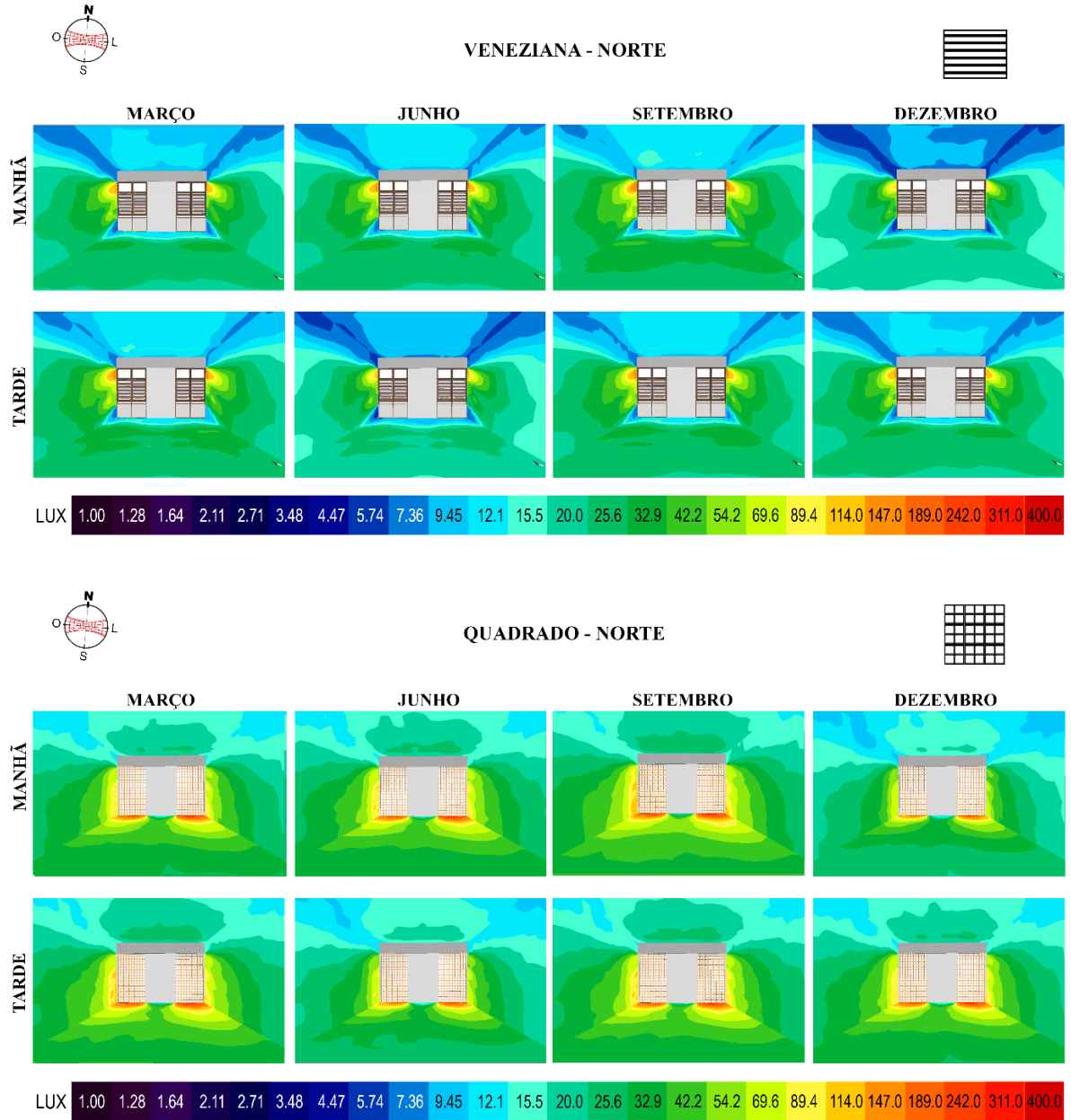
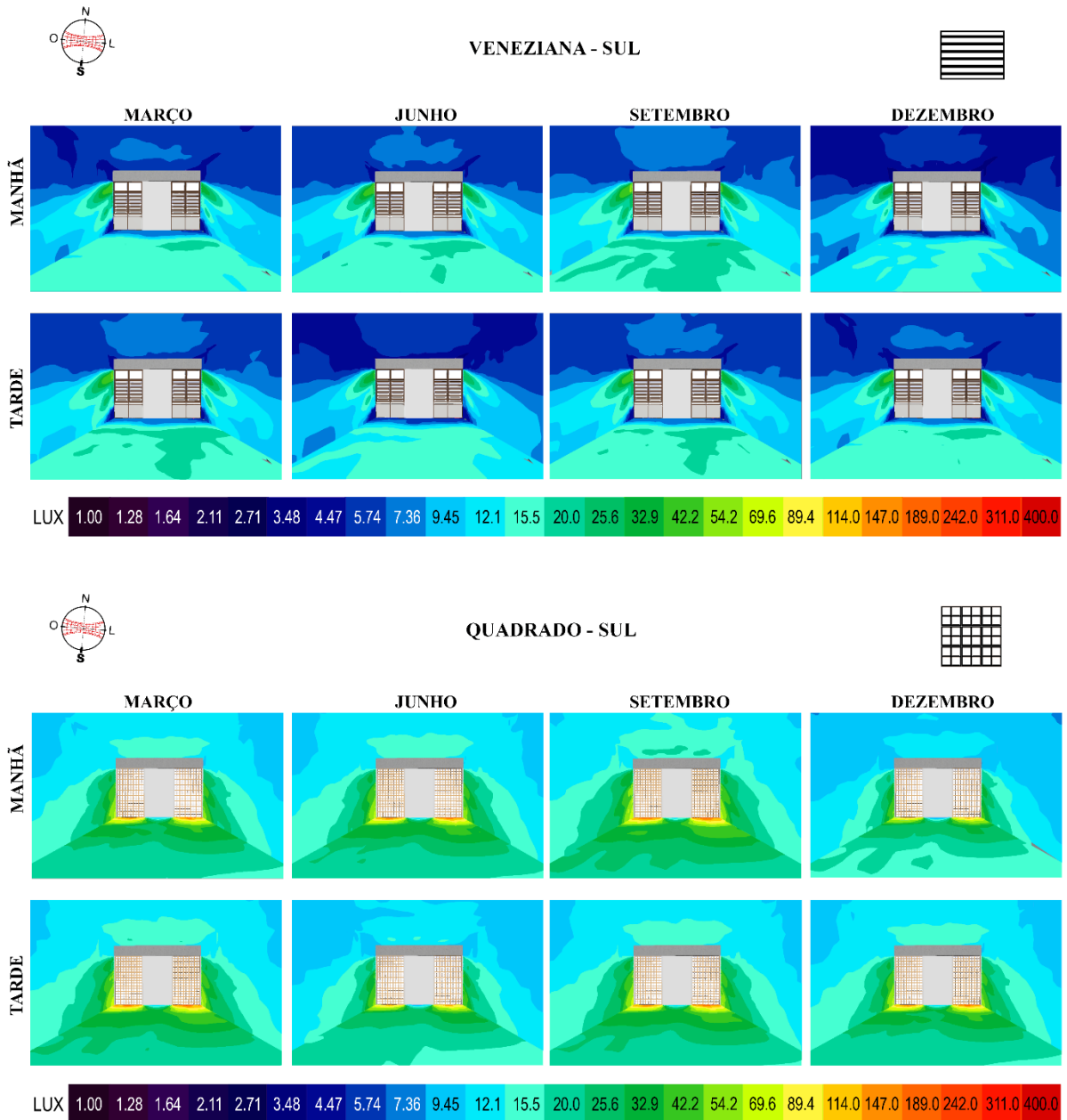


Figura 54: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Sul com os elementos “veneziana” (acima) e “quadrado” (abaixo).



Já as imagens referentes ao elemento “quadrado” indicam uma penetração da luz natural bem mais profunda no ambiente. Nas paredes, os níveis de iluminância possuem uma distribuição mais uniforme, embora não chegue a níveis tão altos quanto os observados no elemento “veneziana” nas áreas próximas às bandeiras.

No chão, os maiores níveis de iluminância são concentrados bem próximos à janela, uma vez que não há áreas opacas como nas venezianas, o que faz com que haja uma distribuição menos uniforme nessa superfície, o mesmo acontece no nível do plano de trabalho, como indicado no item 6.1.2.

Já o teto passa a receber mais luz e com maior uniformidade, fazendo com que essa superfície siga uma escala de valores mais parecida com as paredes, diferentemente do que acontece com o primeiro elemento.

## 6.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO DO ELEMENTO “HEXÁGONO”

### 6.2.1 Iluminância no Plano de Trabalho

A tabela 8 apresenta os valores da iluminância mínima ( $E_{\text{mín}}$ ), média ( $E_{\text{méd}}$ ) e máxima ( $E_{\text{máx}}$ ) no plano de trabalho registrados nas salas Norte e Sul nos meses de março, junho, setembro e dezembro, nos períodos manhã e tarde. Os dados primários completos podem ser encontrados no Apêndice D.

Tabela 8: Iluminâncias mínimas, máximas e médias (em lux) no nível do Plano de Trabalho obtidas com o modelo "hexágono".

VALORES PARA O MODELO "HEXÁGONO" (EM LUX)								
SALA NORTE								
	MANHÃ				TARDE			
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.
	$E_{\text{mín}}$	21,0	21,0	23,0	17,0	22,0	18,0	22,0
$E_{\text{méd}}$	55,6	58,2	64,4	43,8	61,1	47,2	59,3	56,2
$E_{\text{máx}}$	166,0	175,0	194,0	128,0	183,0	139,0	178,0	168,0
SALA SUL								
	MANHÃ				TARDE			
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.
	$E_{\text{mín}}$	14,0	14,0	15,0	13,0	15,0	13,0	15,0
$E_{\text{méd}}$	34,5	35,9	39,3	27,9	37,5	29,6	36,6	34,8
$E_{\text{máx}}$	96,0	100,0	112,0	74,0	106,0	80,0	103,0	97,0

Assim como no elemento anterior, em ambas as salas, os maiores valores de  $E_{\text{méd}}$  foram alcançados no mês de setembro pela manhã, sendo estes 64,4 lx na Sala Norte e 39,3 lx na Sala Sul. Os menores valores de  $E_{\text{méd}}$  em ambas as salas foram registrados no mês de dezembro pela manhã, sendo estes 43,8 lx na Sala Norte e 27,9 lx na Sala Sul.

Os gráficos das figuras 55 e 56 comparam os resultados obtidos nas simulações dos elementos “veneziana” (em laranja) e “hexágono” (em verde) nas salas Norte e Sul, respectivamente. Eles mostram que com uso do elemento “hexágono”, assim como aconteceu com o elemento “quadrado”, proporcionou um aumento nos valores de iluminância em todas as situações analisadas, em ambas as salas.

Figura 55: Gráfico de comparação entre  $E_{mín}$ ,  $E_{méd}$  e  $E_{máx}$  no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "hexágono", para a Sala Norte.

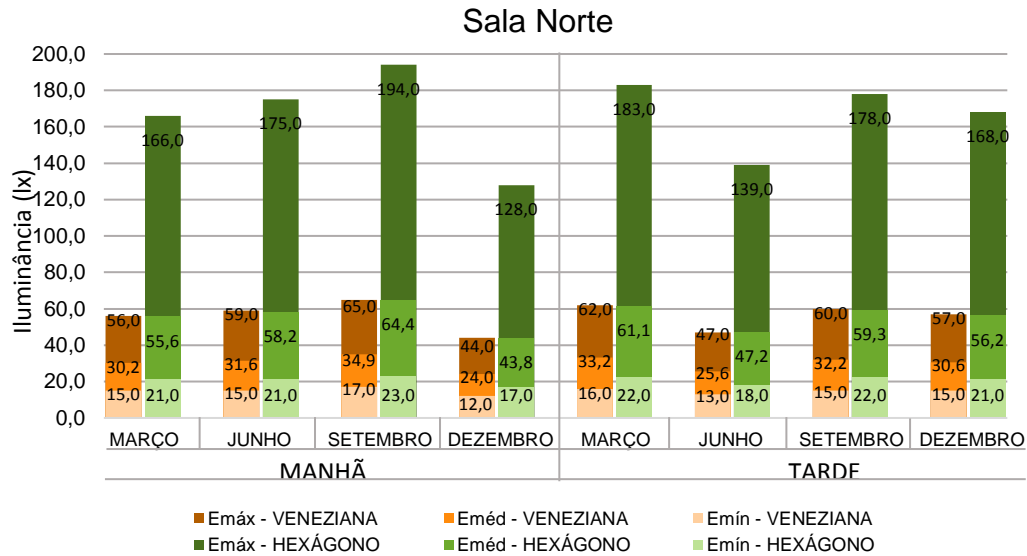
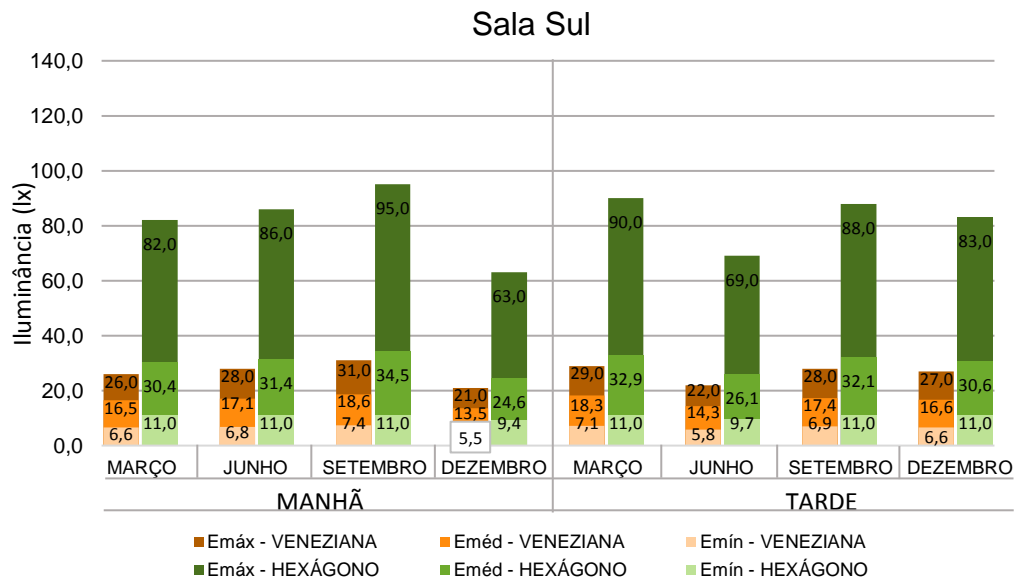


Figura 56: Gráfico de comparação entre  $E_{mín}$ ,  $E_{méd}$  e  $E_{máx}$  no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "hexágono", para a Sala Sul



Na Sala Norte, os valores da  $E_{mín}$  foram os que sofreram menor aumento, em média o acréscimo foi de 139,9%. Os valores da  $E_{máx}$  foram os que tiveram o maior aumento, uma média de 295,6% na Sala Norte e de 362,0% na Sala Sul. Quanto à  $E_{méd}$ , a Sala Norte teve um incremento médio de 183,8% em todas as situações analisadas, já na Sala Sul, esse incremento foi de 208,5%.

Tal qual os resultados do elemento "quadrado", os resultados em ambas as salas são positivos com a implementação do elemento "hexágono" se comparado com as

“venezianas”, da mesma forma a Sala Sul foi a mais beneficiada pela troca. No entanto, estes resultados também não atingem o índice de 300 lx no plano de trabalho recomendado pela NBR 5413/1992 (ABNT, 1992), sendo necessária a suplementação com a iluminação artificial para que se atinja os níveis de iluminância média satisfatórios.

### 6.2.2 Distribuição da luz no plano de trabalho

Para a análise da distribuição da luz no plano de trabalho, resumiu-se na tabela 9 e nas figuras 57 e 58 os valores do coeficiente de variação (cv) e a distribuição em planta da iluminância no plano de trabalho, respectivamente, obtidos nas simulações com os elementos “veneziana” e “hexágono”, para as Salas Norte e Sul.

Tabela 9: Coeficientes de variação: elementos “veneziana” e “hexágono” para as salas Norte e Sul.

<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - SALA NORTE (em %)</b>									
	<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>				
	<b>MAR.</b>	<b>JUN.</b>	<b>SET.</b>	<b>DEZ.</b>	<b>MAR.</b>	<b>JUN.</b>	<b>SET.</b>	<b>DEZ.</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>VENEZIANA</b>	38,28	39,16	39,14	36,69	39,21	37,71	39,19	38,79	<b>38,52</b>
<b>HEXÁGONO</b>	70,35	70,86	71,33	67,78	70,93	68,52	70,87	70,30	<b>70,12</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - SALA SUL (em %)</b>									
	<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>				
	<b>MAR.</b>	<b>JUN.</b>	<b>SET.</b>	<b>DEZ.</b>	<b>MAR.</b>	<b>JUN.</b>	<b>SET.</b>	<b>DEZ.</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>VENEZIANA</b>	35,16	35,47	35,98	34,13	37,02	34,39	35,40	35,54	<b>35,39</b>
<b>HEXÁGONO</b>	62,87	63,71	65,69	57,90	64,85	60,18	64,38	63,18	<b>62,84</b>

Figura 57: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Norte com o elemento “veneziana” (acima) e “hexágono” (abaixo).

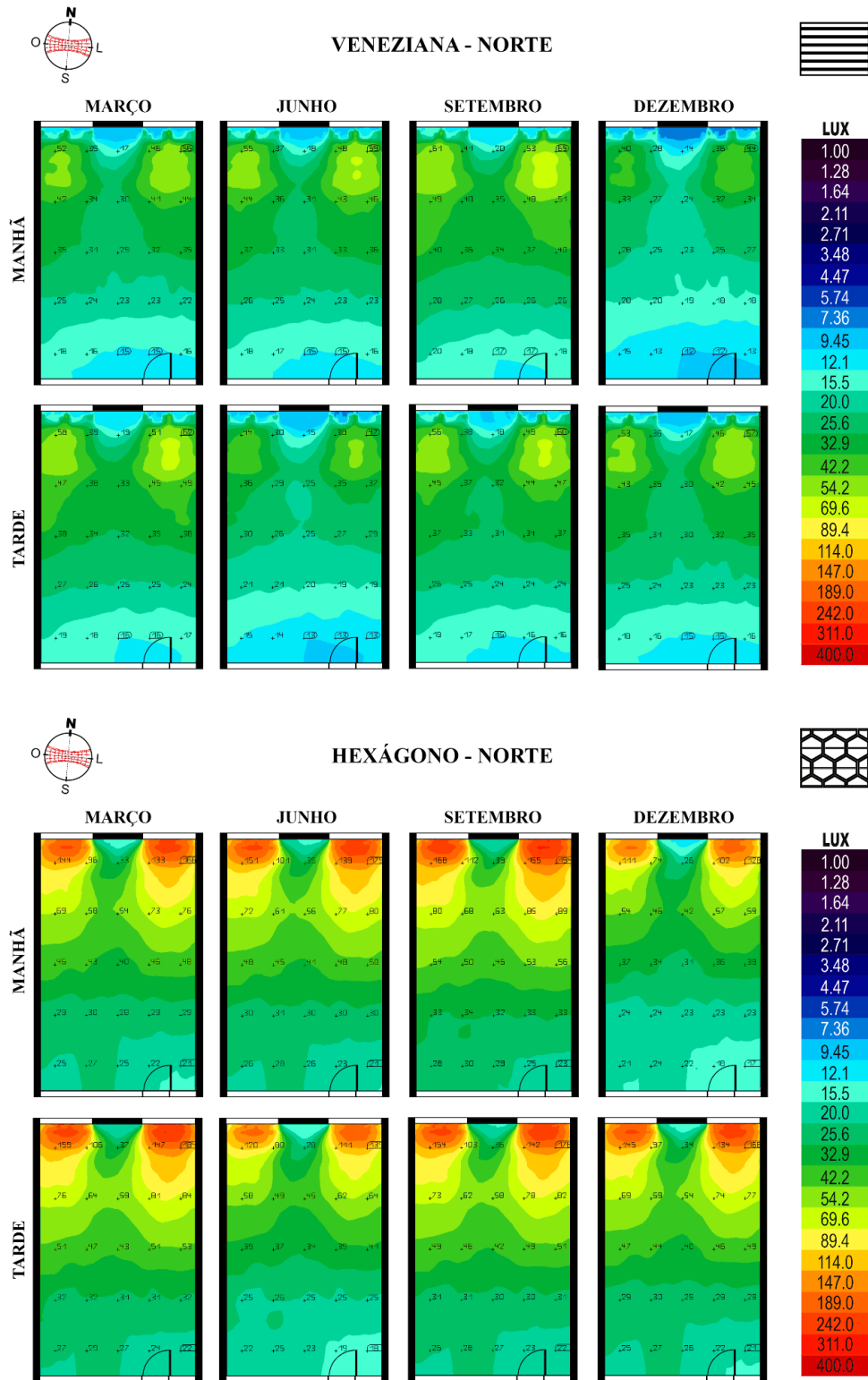
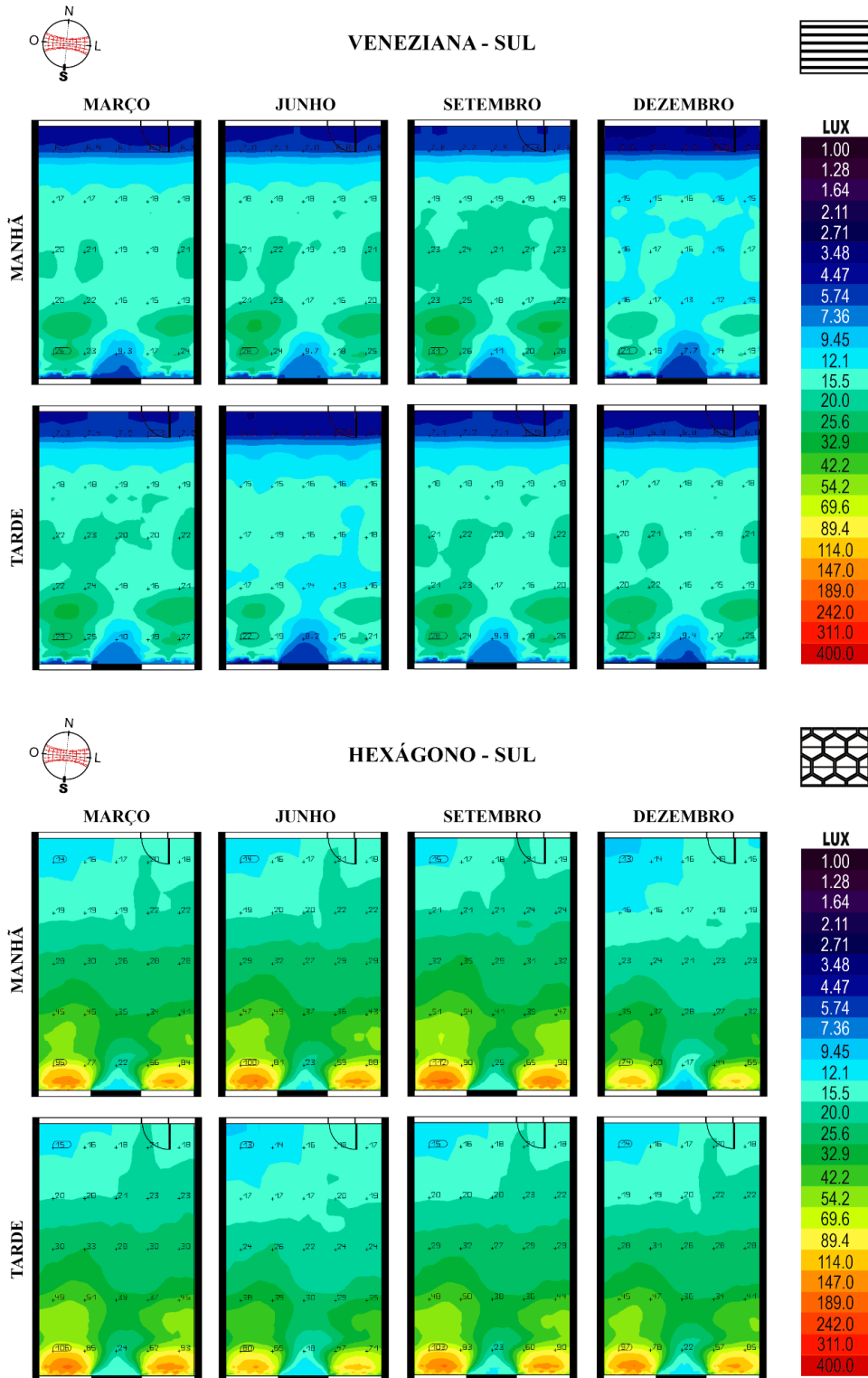


Figura 58: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento “veneziana” (acima) e “hexágono” (abaixo).



Assim como o elemento “quadrado”, pode-se perceber que os valores do coeficiente de variação obtidos com o elemento “hexágono” são maiores que com os ele-

mentos “veneziana”. Isso acontece pelo mesmo motivo, com o aumento da iluminância advinda principalmente das aberturas da parede externa, a distribuição torna-se mais heterogênea, ou seja, mais variável, uma vez que a iluminação próxima às aberturas acaba sendo bem mais alta que nos pontos mais distantes das janelas, como é evidenciado nas imagens.

### 6.2.3 Alcance da Iluminação

Para a análise do alcance da luz nas superfícies internas do ambiente, observou-se as figuras 59 e 60, que mostram a distribuição em perspectiva da iluminância nas superfícies das paredes, chão e teto, geradas nas simulações com os elementos “veneziana” e “hexágono” para as Salas Norte e Sul, respectivamente.

Figura 59: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Norte com os elementos “veneziana” (acima) e “hexágono” (abaixo).

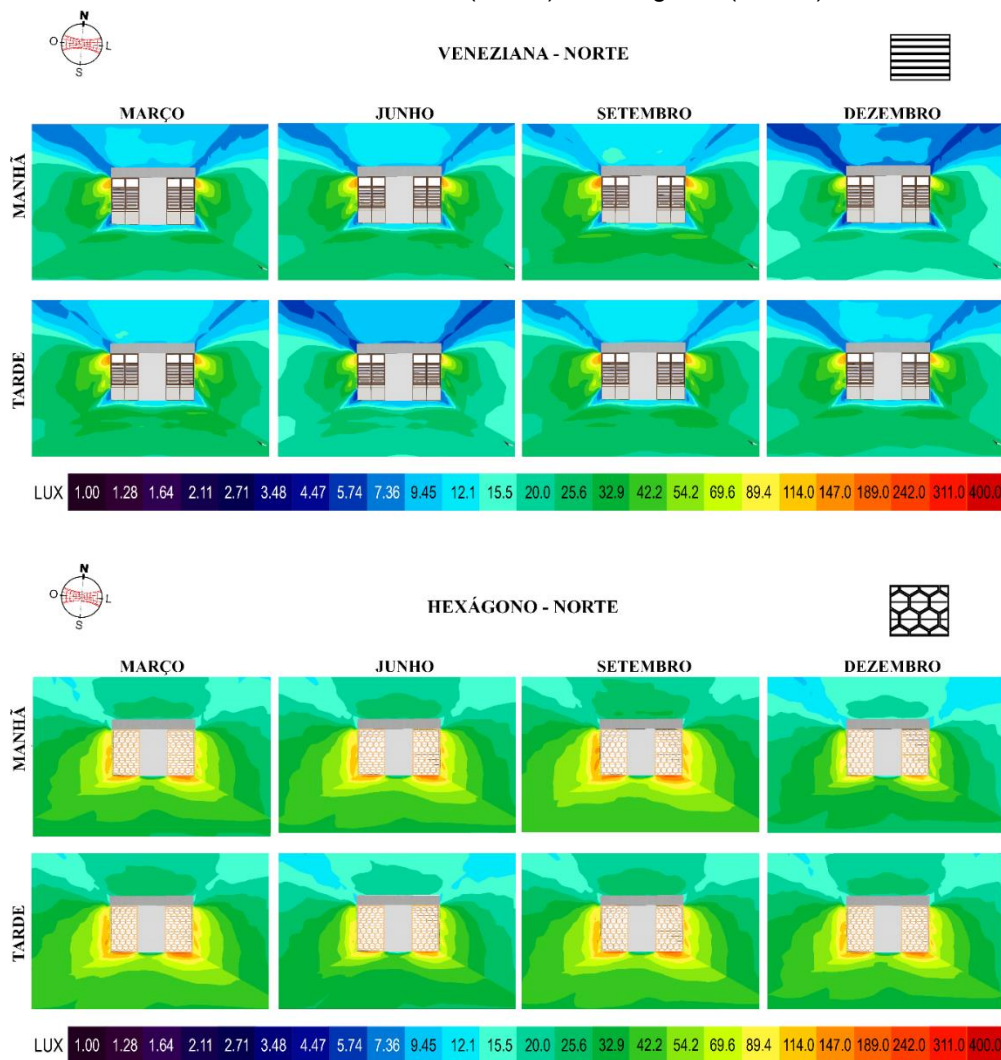
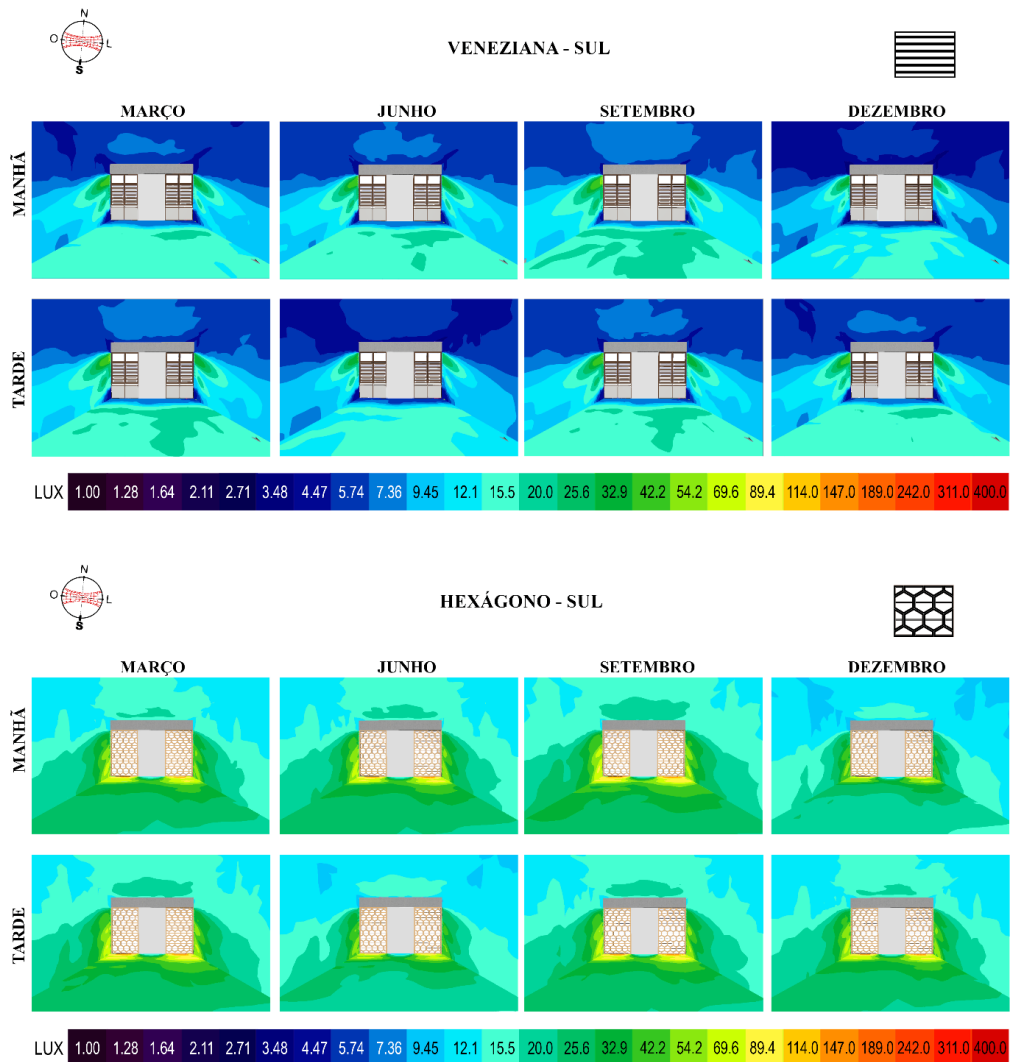


Figura 60: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Sul com os elementos “veneziana” (acima) e “hexágono” (abaixo).



Como no elemento “quadrado”, as imagens referentes ao elemento “hexágono” indicam uma penetração da luz natural no ambiente bem mais profunda que aquela alcançada com o elemento “veneziana”. Nas paredes, os níveis de iluminância possuem uma distribuição mais uniforme, mas é possível perceber que os valores mais altos são concentrados na parte inferior dessas superfícies. É possível perceber, também que, diferentemente do elemento “quadrado”, os níveis máximos alcançados nas paredes equivalem aos níveis máximos alcançados próximo às bandeiras da veneziana na Sala Norte, e na Sala Sul esses níveis são ainda mais altos que aqueles próximos às bandeiras.

No chão, os maiores níveis de iluminância são concentrados bem próximos à janela, uma vez que não há fechamentos como nas venezianas, tal qual o elemento

“quadrado”, o que faz com que haja uma distribuição menos uniforme nessa superfície, o mesmo que acontece no nível do plano de trabalho, como indicado no item 6.2.2.

O teto passa a receber mais luz e com maior uniformidade, também seguindo as tendências descritas para o elemento analisado anteriormente.

### 6.3 ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO DO ELEMENTO “ESCAMA”

#### 6.3.1 Iluminância no Plano de Trabalho

A tabela 10 apresenta os valores da iluminância mínima ( $E_{mín}$ ), média ( $E_{méd}$ ) e máxima ( $E_{máx}$ ) no plano de trabalho registrados nas salas Norte e Sul nos meses de março, junho, setembro e dezembro, nos períodos manhã e tarde. Os dados primários completos podem ser encontrados no Apêndice E.

Tabela 10: Iluminâncias mínimas, máximas e médias (em lux) no nível do Plano de Trabalho obtidas com o modelo "escama".

VALORES PARA O MODELO "ESCAMA" (EM LUX)								
SALA NORTE								
MANHÃ					TARDE			
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.
$E_{mín}$	19,0	19,0	21,0	16,0	20,0	17,0	20,0	19,0
$E_{méd}$	51,9	54,2	59,7	41,2	56,8	44,2	55,2	52,4
$E_{máx}$	173,0	181,0	202,0	133,0	191,0	144,0	185,0	175,0
SALA SUL								
MANHÃ					TARDE			
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.
$E_{mín}$	14,0	15,0	15,0	13,0	15,0	13,0	15,0	14,0
$E_{méd}$	34,2	35,6	38,7	28,2	37,2	29,9	36,2	34,5
$E_{máx}$	106,0	111,0	123,0	82,0	117,0	89,0	113,0	107,0

Seguindo a mesma tendência que aconteceu com os elementos “quadrado” e “hexágono”, os maiores valores de  $E_{méd}$  foram encontrados no período da manhã do mês de setembro, em ambas as salas, sendo estes 59,7 lx na Sala Norte e 39,3 lx na Sala Sul. Os menores valores de  $E_{méd}$  em ambas as salas também foram registrados no mês de dezembro pela manhã, sendo estes 16 lx na Sala Norte e 13 lx na Sala Sul. Nesta última o valor de 13 lx também foi registrado no mês de junho pela tarde.

Os gráficos das figuras 61 e 62 comparam os resultados obtidos nas simulações dos elementos “veneziana” (em laranja) e “escama” (em verde) nas salas Norte e Sul, respectivamente. Eles mostram que com o uso do elemento “escama”, assim

como ocorreu com os elementos “quadrado” e hexágono” houve um aumento nos valores de iluminância em todos os meses e horários analisados, em ambas as salas.

Figura 61: Gráfico de comparação entre  $E_{min}$ ,  $E_{med}$  e  $E_{max}$  no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "escama", para a Sala Norte.

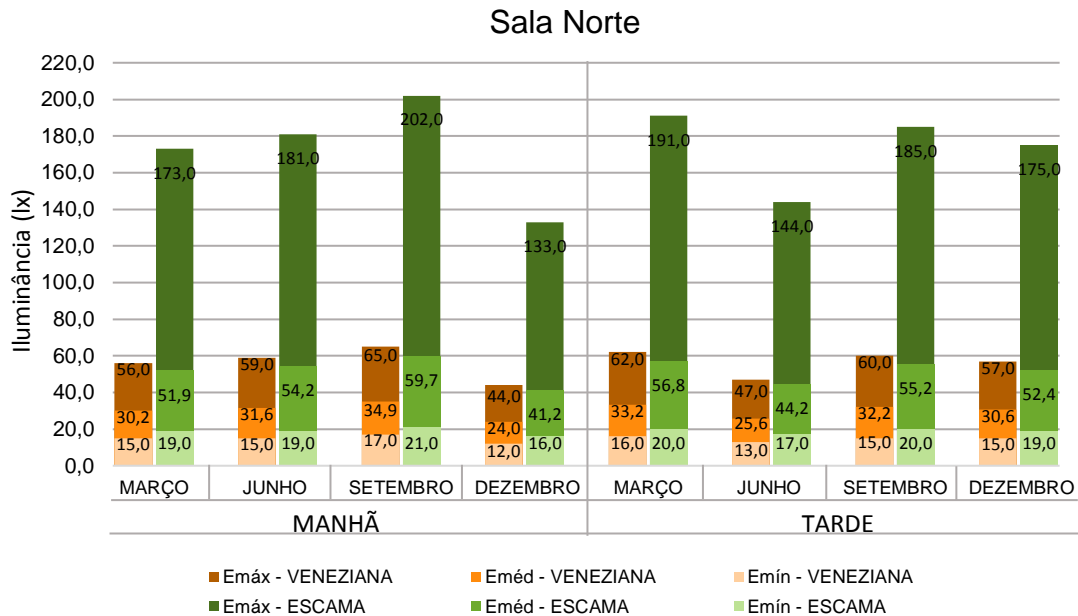
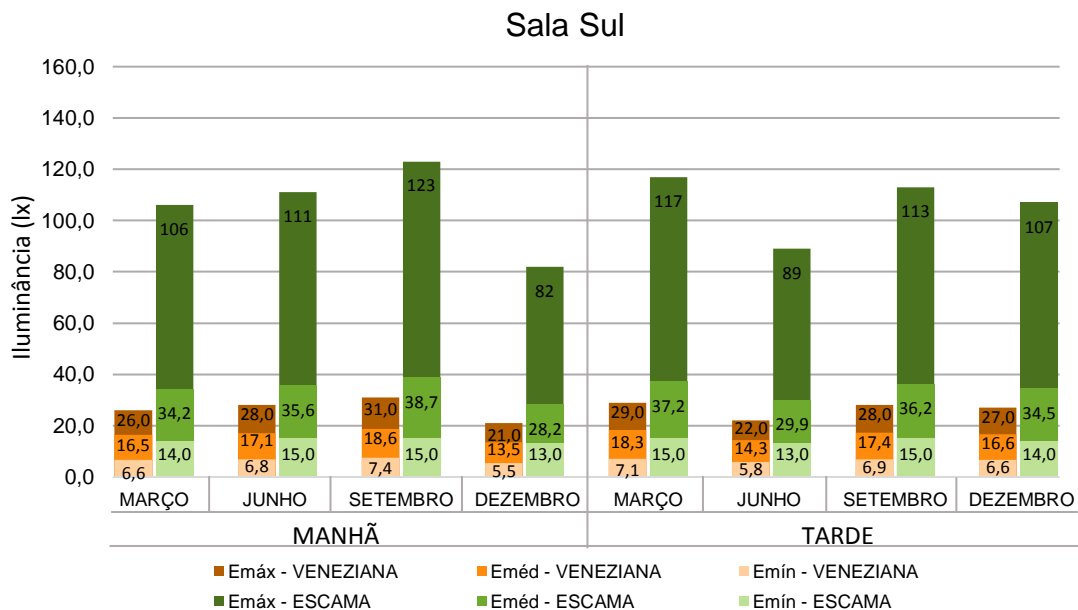


Figura 62: Gráfico de comparação entre  $E_{min}$ ,  $E_{med}$  e  $E_{max}$  no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos "veneziana e "escama", para a Sala Sul.



Na Sala Norte, os valores da  $E_{min}$  foram os que sofreram menor aumento, em média esse acréscimo foi de 128,2%. Os valores da  $E_{max}$  foram os que tiveram o maior aumento, uma média de 307,3% na Sala Norte e de 400% na Sala Sul. Quanto à

Eméd, a Sala Norte teve um incremento médio de 171,5% em todas as situações analisadas, já na Sala Sul, esse incremento foi de 207%.

Tal qual os resultados dos elementos “quadrado” e “hexágono”, os ganhos em ambas as salas são positivos com a implementação do elemento “escama”, e da mesma forma, a Sala Sul foi a mais beneficiada pela troca. No entanto, estes resultados também não atingem o valor de 300 lx no plano de trabalho recomendado pela NBR 5413/1992 (ABNT, 1992), fazendo com que, mais uma vez, seja necessária, a suplementação com a iluminação artificial para que se atinja os níveis de iluminância média satisfatórios.

### 6.3.2 Distribuição da luz no plano de trabalho

Para a análise da distribuição da luz no plano de trabalho, resumiu-se na tabela 11 e nas figuras 63 e 64 os valores do coeficiente de variação (cv) e a distribuição em planta da iluminância no plano de trabalho, respectivamente, obtidos nas simulações com os elementos “veneziana” e “escama”, para as Salas Norte e Sul.

Tabela 11: Coeficientes de variação: elementos "veneziana" e "escama" para as salas Norte e Sul.

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - SALA NORTE (em %)									
MANHÃ					TARDE				MÉDIA
MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.		
VENEZIANA	38,28	39,16	39,14	36,69	39,21	37,71	39,19	38,79	<b>38,52</b>
ESCAMA	82,94	83,72	85,26	78,85	84,36	80,21	83,83	83,17	<b>82,79</b>
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - SALA SUL (em %)									
MANHÃ					TARDE				MÉDIA
MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.		
VENEZIANA	35,16	35,47	35,98	34,13	37,02	34,39	35,40	35,54	<b>35,39</b>
ESCAMA	73,52	74,59	76,61	66,95	75,51	69,16	74,93	73,98	<b>73,16</b>

Figura 63: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Norte com o elemento “veneziana” (acima) e “escama” (abaixo).

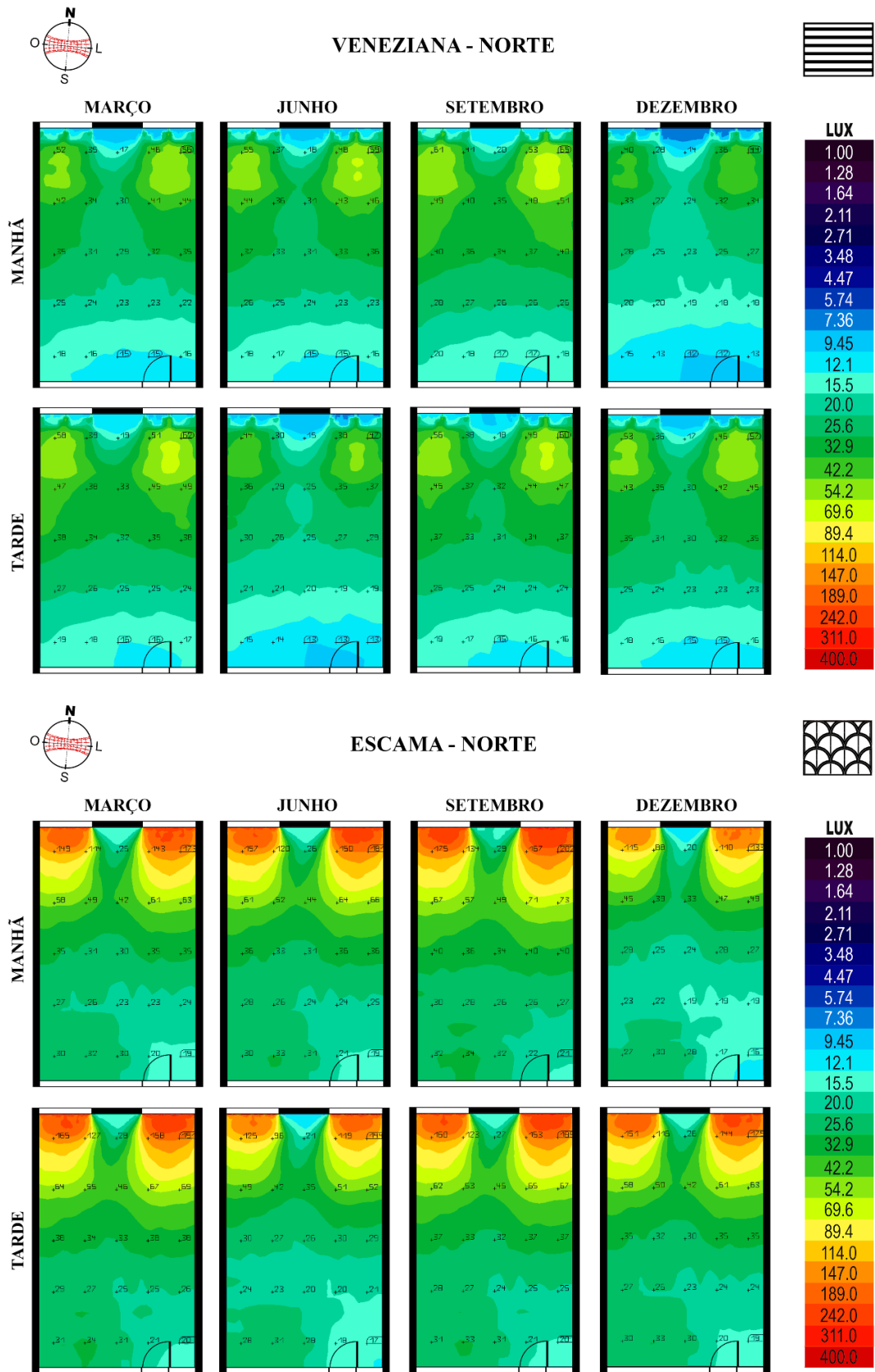
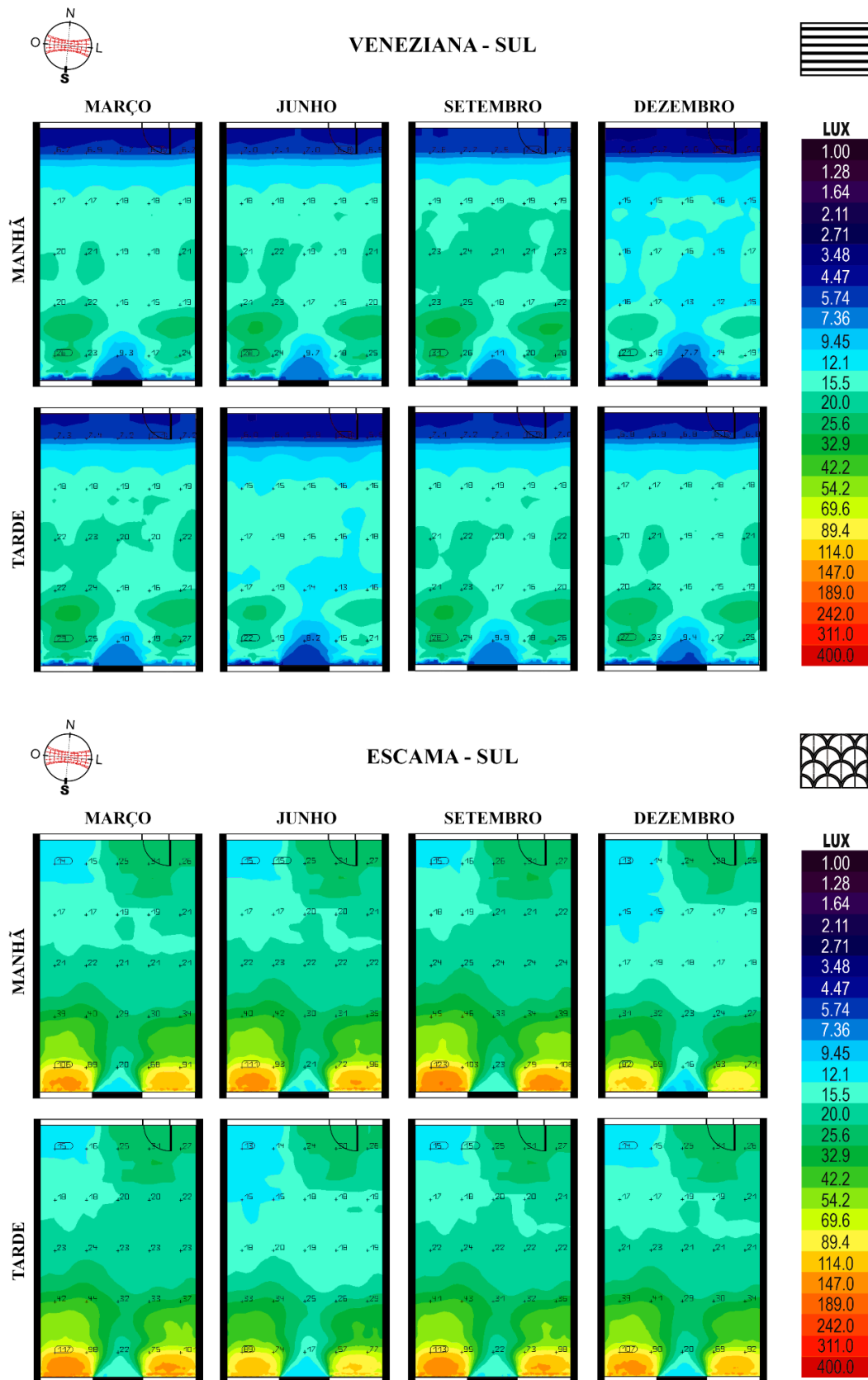


Figura 64: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento “veneziana” (acima) e “escama” (abaixo).



Assim como os elementos anteriores, pode-se perceber que os valores do coeficiente de variação obtidos com o elemento “escama” são maiores que com os elementos “veneziana”, evidenciado também pelas imagens. Isso acontece pelo mesmo motivo explanado nos itens 9.1.2 e 9.2.2.

### 6.3.3 Alcance da Iluminação

Para a análise do alcance da luz nas superfícies internas do ambiente, observou-se as figuras 65 e 66, que mostram a distribuição em perspectiva da iluminância nas superfícies das paredes, chão e teto, geradas nas simulações com os elementos “veneziana” e “escama” para as Salas Norte e Sul, respectivamente.

Figura 65: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Norte com os elementos “veneziana” (acima) e “escama” (abaixo).

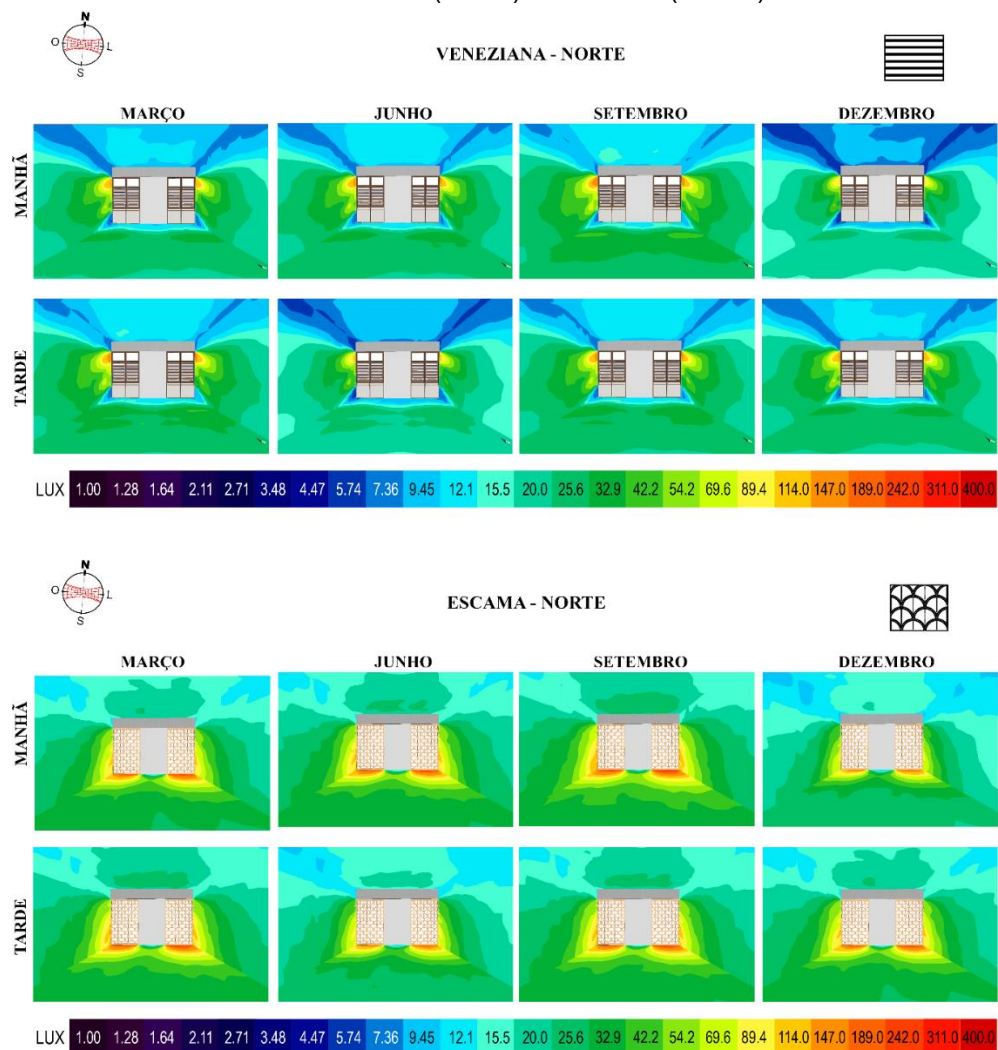
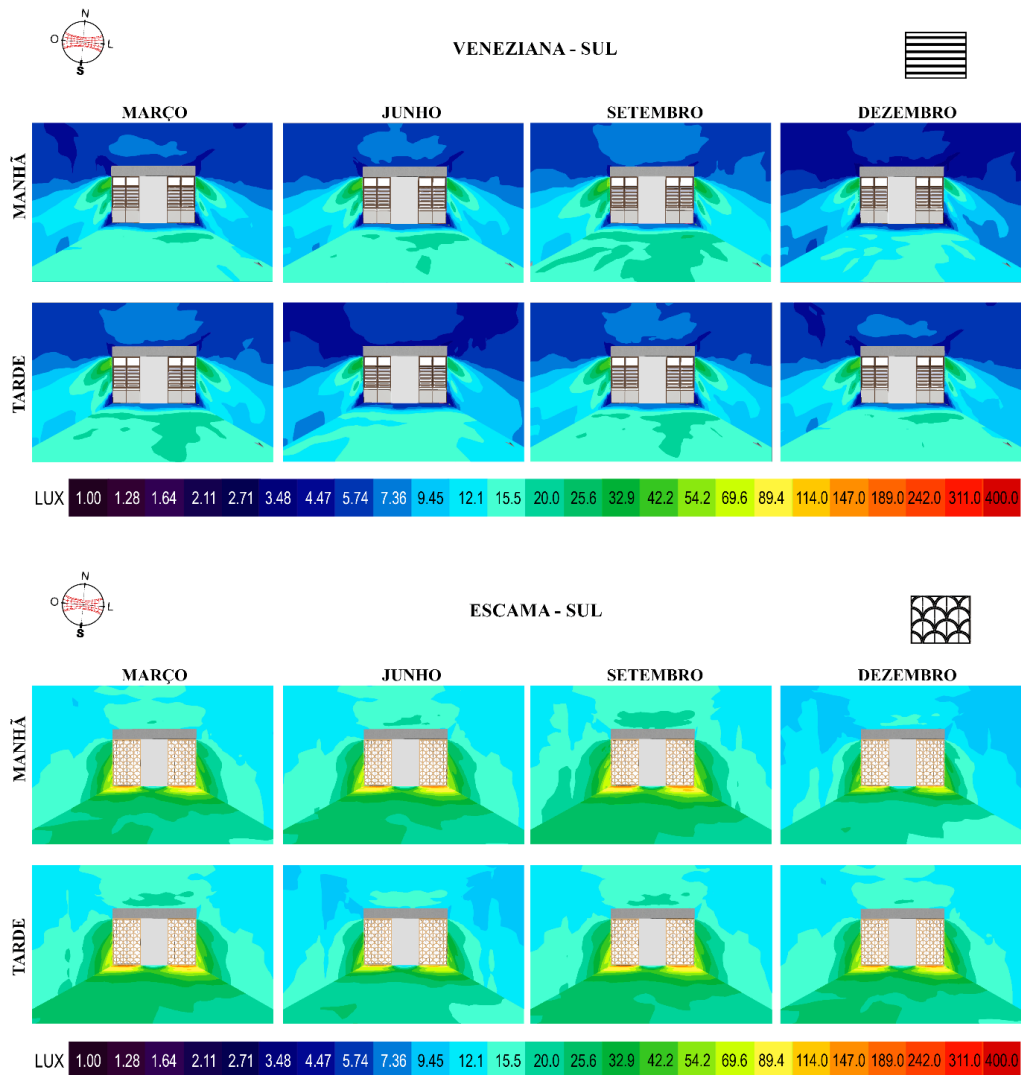


Figura 66: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Sul com os elementos “veneziana” (acima) e “escama” (abaixo).



Como nos elementos anteriores, as imagens referentes ao elemento “escama” indicam uma penetração da luz natural no ambiente bem mais profunda que aquela alcançada com o elemento “veneziana”. Nas paredes, os níveis de iluminância possuem uma distribuição mais uniforme. É possível perceber que, tal qual o elemento “hexágono” os valores mais altos são concentrados na porção inferior dessas superfícies, e que os níveis máximos alcançados nas paredes equivalem aos níveis máximos alcançados próximo às bandeiras da veneziana na Sala Norte e Sul.

No chão, mais uma vez os maiores níveis de iluminância são concentrados bem próximos à janela, seguindo a tendência dos elementos anteriores.

O teto passa a receber mais luz e com maior uniformidade, também seguindo as tendências descritas para os elementos analisados anteriormente.

## 6.4 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO DOS TRÊS ELEMENTOS PROPOSTOS

### 6.4.1 Iluminância no Plano de Trabalho

Os gráficos das figuras 67 e 68 comparam os resultados obtidos nas simulações dos elementos “quadrado” (em laranja), “hexágono” (em verde) e “escama” (em azul) nas salas Norte e Sul, respectivamente.

Figura 67: Gráfico de comparação entre  $E_{mín}$ ,  $E_{méd}$  e  $E_{máx}$  no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos “quadrado”, “hexágono” e “escama”, para a Sala Norte.

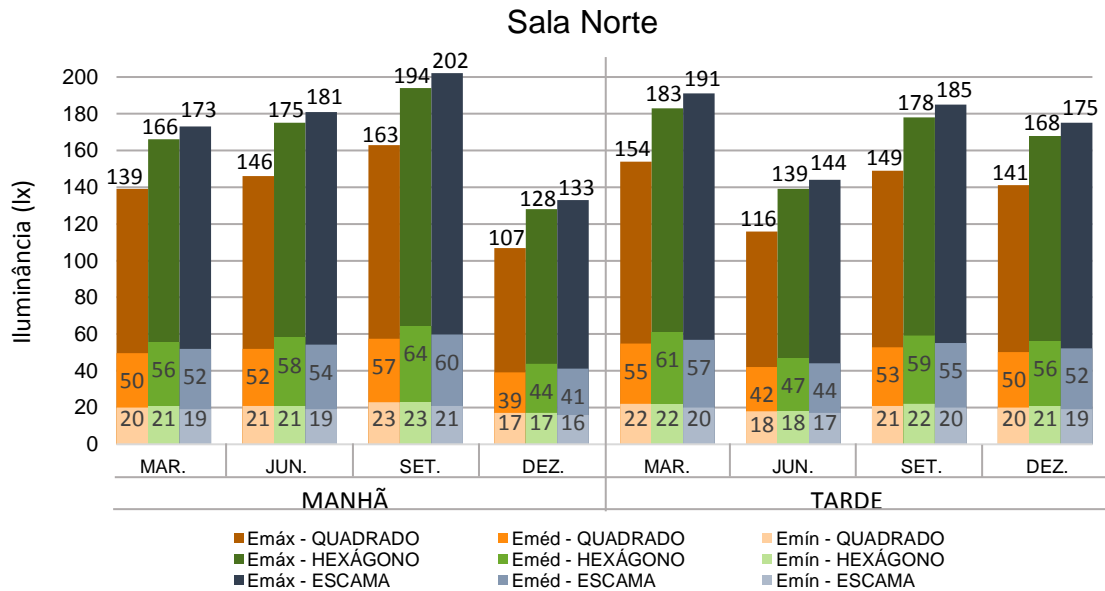
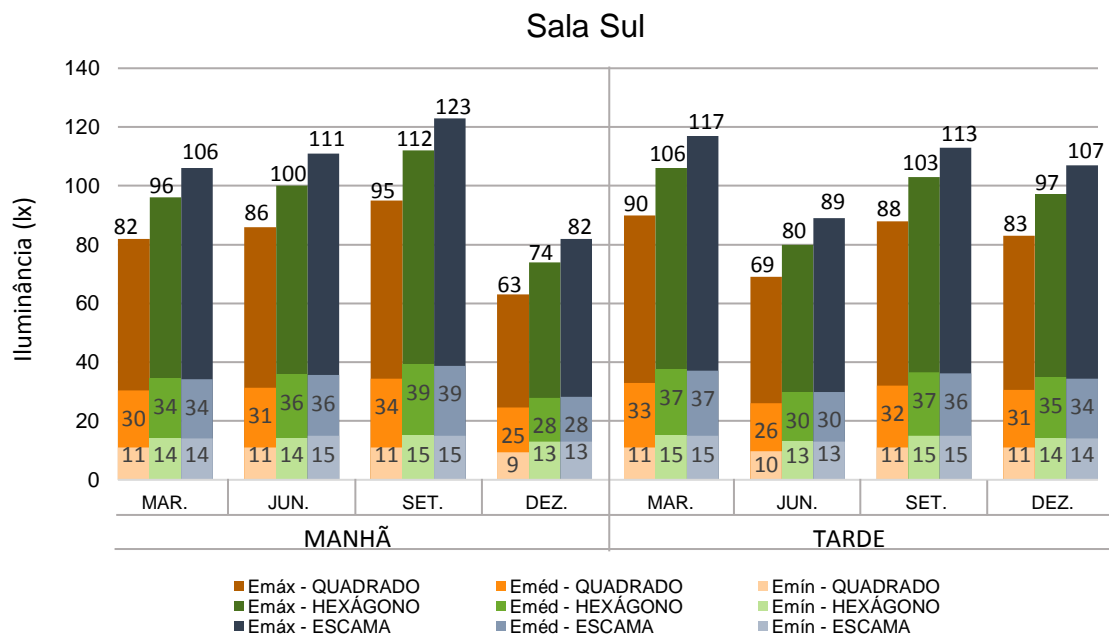


Figura 68: Gráfico de comparação entre  $E_{mín}$ ,  $E_{méd}$  e  $E_{máx}$  no nível do Plano de Trabalho obtidas com os elementos “quadrado”, “hexágono” e “escama”, para a Sala Sul.



Observando os gráficos é possível notar que o desempenho dos três elementos quanto à  $E_{méd}$  no plano de trabalho é bem similar. No entanto, na Sala Norte o elemento “hexágono” foi o que obteve melhor performance nesse aspecto, com um  $E_{méd}$  média de 55,7 lx, seguido do elemento “escama”, com  $E_{méd}$  média de 52 lx, e do elemento “quadrado”, com  $E_{méd}$  média de 49,8 lx. Já na Sala Sul, os valores de  $E_{méd}$  obtidos com os elementos “hexágono” e “escama”, também mais altos que os obtidos com o elemento “quadrado”, são idênticos em quase todos os meses e horários, com uma  $E_{méd}$  média de 34,5 lx e 34,3 lx, respectivamente.

Os valores de  $E_{mín}$  também foram muito similares entre os três elementos. Na Sala Norte, os elementos “quadrado” e “hexágono” tiveram valores quase idênticos neste aspecto, com uma média de 20,3 lx e 20,6 lx, respectivamente, enquanto a média do elemento “escama” foi de 18,9 lx. Já na Sala Sul, o elemento “quadrado” foi o que obteve os menores valores de  $E_{mín}$ , uma média de 10,6 lx, enquanto a média dos elementos “hexágono” e “escama” foi de 34,5 lx e 34,3 lx, respectivamente.

Já os valores de  $E_{máx}$  foram os mais diferentes entre os três elementos. Em ambas as salas o elemento “escama” foi que obteve os maiores valores nesse aspecto, uma média de 173 lx na Sala Norte e 106 lx na Sala Sul, seguido pelo elemento “hexágono”, com uma média de 166,4 lx na Sala Norte e 96 lx na Sala Sul, e pelo elemento “quadrado”, com média de 139,4 lx na Sala Norte e 82 lx na Sala Sul.

A partir dessas observações, é possível concluir que o elemento “hexágono” obteve a melhor performance quanto à iluminância média no nível do plano de trabalho em ambas as salas. Embora os valores de  $E_{méd}$  desse elemento na Sala Sul sejam muito similares aos do elemento “escamas”, este último possui os valores de  $E_{máx}$  mais elevados, indicando que nessa situação a distribuição da luz será um pouco menos homogênea (característica que será melhor abordada no item 6.4.2). Esse elemento também obteve as melhores performances quanto aos valores de iluminância mínima, o que indica que com ele a entrada de luz é maior no ambiente inteiro, uma vez que até o ponto menos iluminado recebe mais luz que nos demais casos analisados.

Ainda que o elemento “quadrado” tenha tido valores de iluminância média um pouco menores que os demais, os valores de iluminância máxima foram inferiores aos obtidos com as outras duas propostas, enquanto manteve os valores de iluminância mínima muito próximos aos dos demais. Isso indica que ele permite que a luz alcance

os pontos menos iluminados de forma parecida com os elementos “hexágono” e “escama”, ao mesmo tempo que controla os pontos mais iluminados para que estes não atinjam valores tão elevados.

Nota-se que os desempenhos quanto à iluminância no plano de trabalho de cada um dos elementos são correlacionados às áreas de abertura do módulo de cada elemento, posto que a área da abertura do elemento “hexágono” é de 0,031m<sup>2</sup>, a do elemento “escama” é de 0,024m<sup>2</sup> e a do elemento “quadrado” é de 0,013m<sup>2</sup>. Como Cordeiro *et al.* (2017) apontaram, um cobogó que possui maior a área das perfurações tem uma admissão de luz maior que um cobogó que possui menor área das perfurações, e essa tendência se repetiu com os elementos propostos neste trabalho.

#### 6.4.2 Distribuição da luz no plano de trabalho

Para a análise da distribuição da luz no plano de trabalho, resumiu-se na tabela 12 e nas figuras 69 e 70 os valores do coeficiente de variação (cv) e a distribuição em planta da iluminância no plano de trabalho, respectivamente, obtidos nas simulações com os elementos e “quadrado”, “hexágono” e “escama, para as Salas Norte e Sul.

Tabela 12: Coeficientes de variação: elementos "quadrado", "hexágono" e "escama" para as salas Norte e Sul.

	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - SALA NORTE								MÉDIA
	MANHÃ				TARDE				
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	
QUADRADO	71,03	71,26	72,15	68,26	71,66	69,24	71,61	70,83	70,75
HEXÁGONO	70,35	70,86	71,33	67,78	70,93	68,52	70,87	70,30	70,12
ESCAMA	82,94	83,72	85,26	78,85	84,36	80,21	83,83	83,17	82,79
	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - SALA SUL								MÉDIA
	MANHÃ				TARDE				
	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	MAR.	JUN.	SET.	DEZ.	
QUADRADO	66,56	68,30	69,50	61,71	68,69	63,76	68,36	66,97	66,73
HEXÁGONO	62,87	63,71	65,69	57,90	64,85	60,18	64,38	63,18	62,84
ESCAMA	73,52	74,59	76,61	66,95	75,51	69,16	74,93	73,98	73,16

Figura 69: Distribuição da iluminação no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento “quadrado” (acima), “hexágono” (ao centro) e “escama” (abaixo).

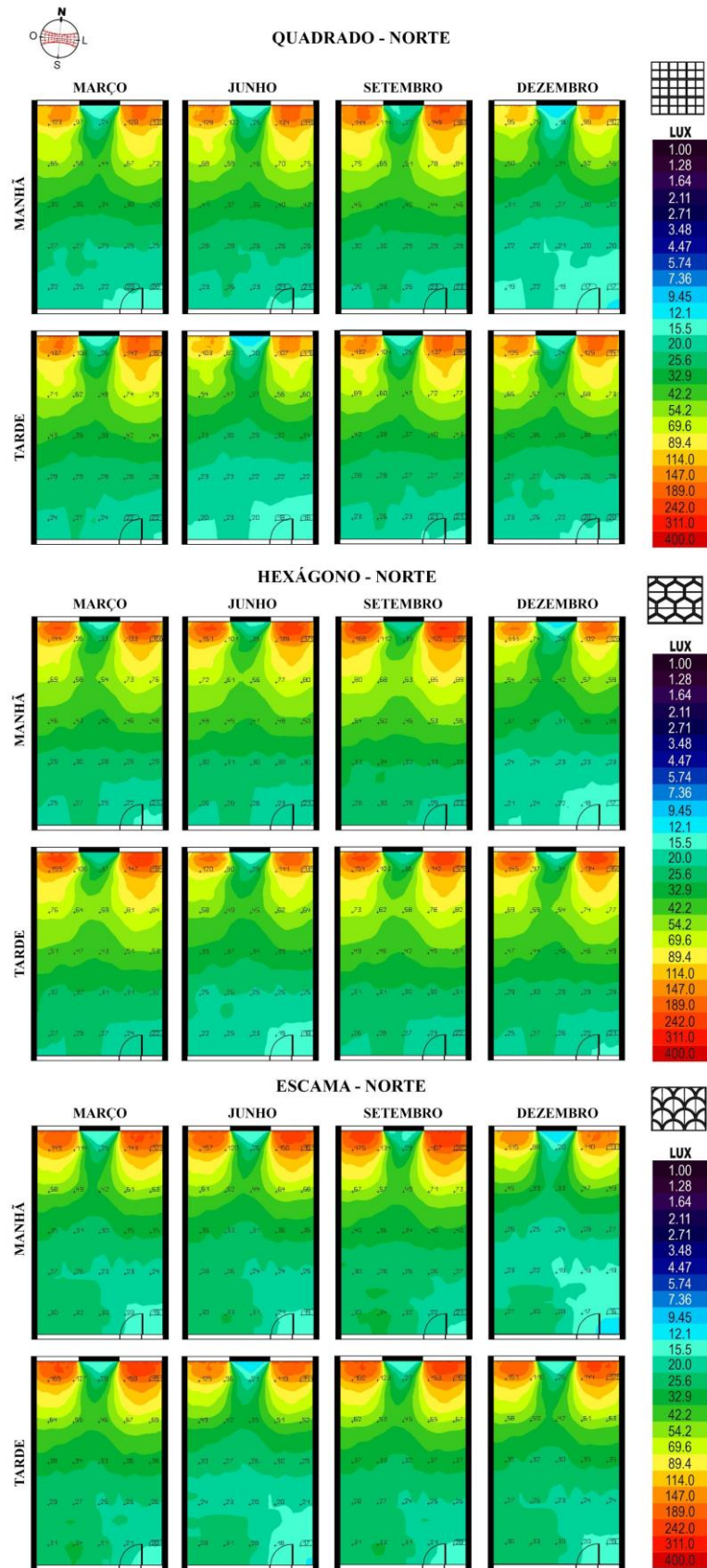
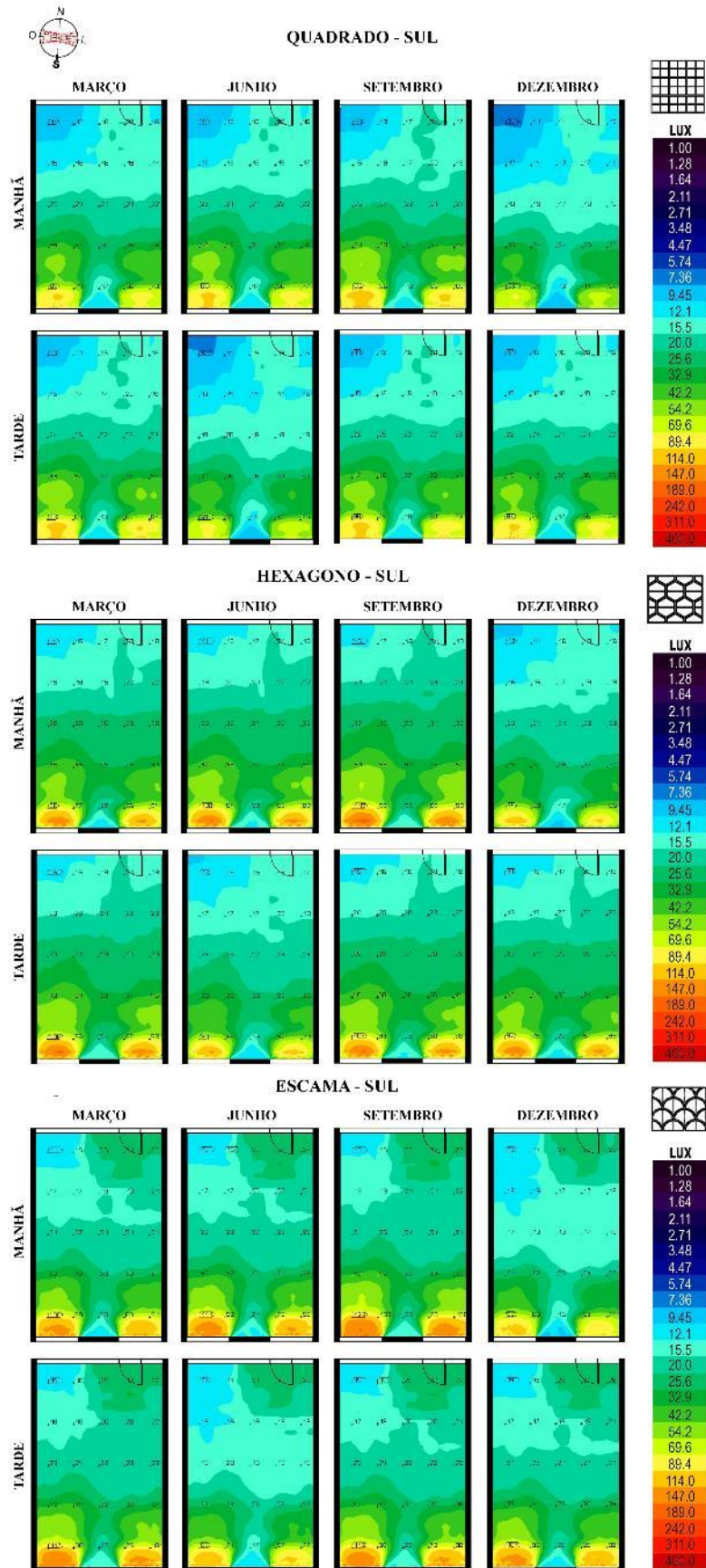


Figura 70: Distribuição da iluminância no plano de trabalho da Sala Sul com o elemento “quadrado” (acima), “hexágono” (ao centro) e “escama” (abaixo).



Observando os valores da tabela 12, é possível concluir que o elemento “hexágono” é o que possui a melhor distribuição dentre as três propostas, evidenciado pela menor média dos coeficientes de variação, 70,12% na Sala Norte e 62,84% na Sala Sul, seguido pelo elemento “quadrado”, com 70,75% na Sala Norte e 66,73% na Sala Sul. O elemento que obteve o maior e, portanto, pior coeficiente de variação foi o elemento “escama”, sendo 82,79% na Sala Norte e 73,16% na Sala Sul.

Essa tendência observada nas imagens, é possível perceber que os elementos “quadrado” e “hexágono” permitem que a iluminação penetre mais no ambiente, o que ocasiona uma melhor distribuição, enquanto o elemento “escama” concentra a iluminação mais próximo às aberturas. Também pode-se notar que, conforme descrito no item 6.4.1, o elemento “quadrado” controla melhor os valores máximos, enquanto o elemento “escama” permite que as áreas de iluminâncias máximas cheguem a valores mais elevados que os outros dois, ilustrado pelas manchas mais avermelhadas.

O mau desempenho das três propostas quanto à distribuição da luz pode ser justificado pelo fato da modificação da configuração das aberturas em relação às venezianas originais, pois removeu-se a parte inferior das esquadrias que originalmente são fechada. Desse modo, a abertura torna-se mais verticalizada porém as janelas horizontais distribuem a luz mais uniformemente que as verticais (LAMBERTS, 1997), assim a distribuição da luz pelos elementos proposto é menos eficiente.

### **6.4.3 Alcance da iluminação**

Para a análise do alcance da luz nas superfícies internas do ambiente, observou-se as figuras 71 e 72, que mostram a distribuição em perspectiva da iluminância nas superfícies das paredes, chão e teto, geradas nas simulações com os elementos “quadrado”, “hexágono” e “escama” para as Salas Norte e Sul, respectivamente.

Figura 71: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Norte com os elementos “quadrado” (acima), “hexágono” (ao centro) e “escama” (abaixo).

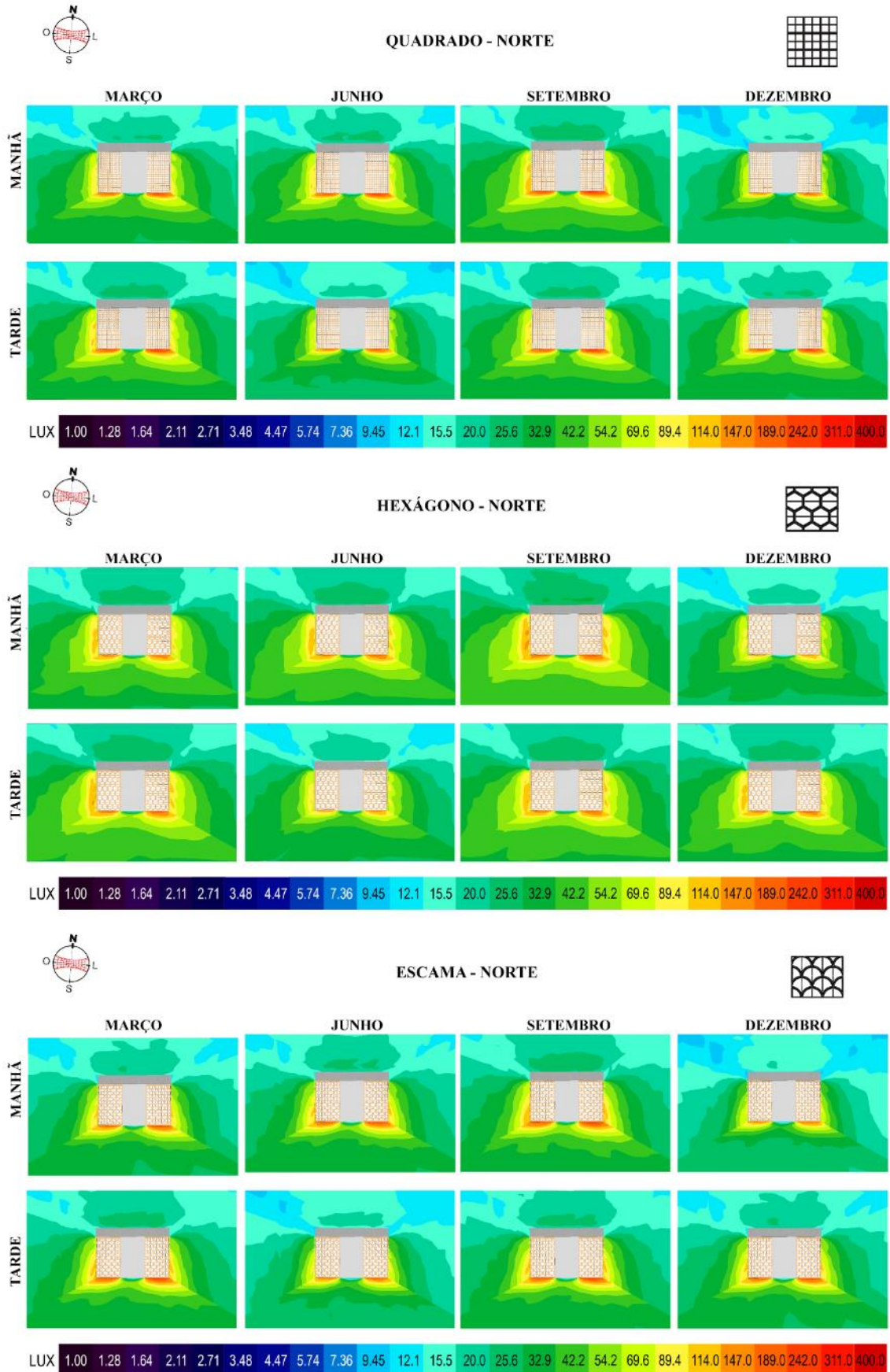
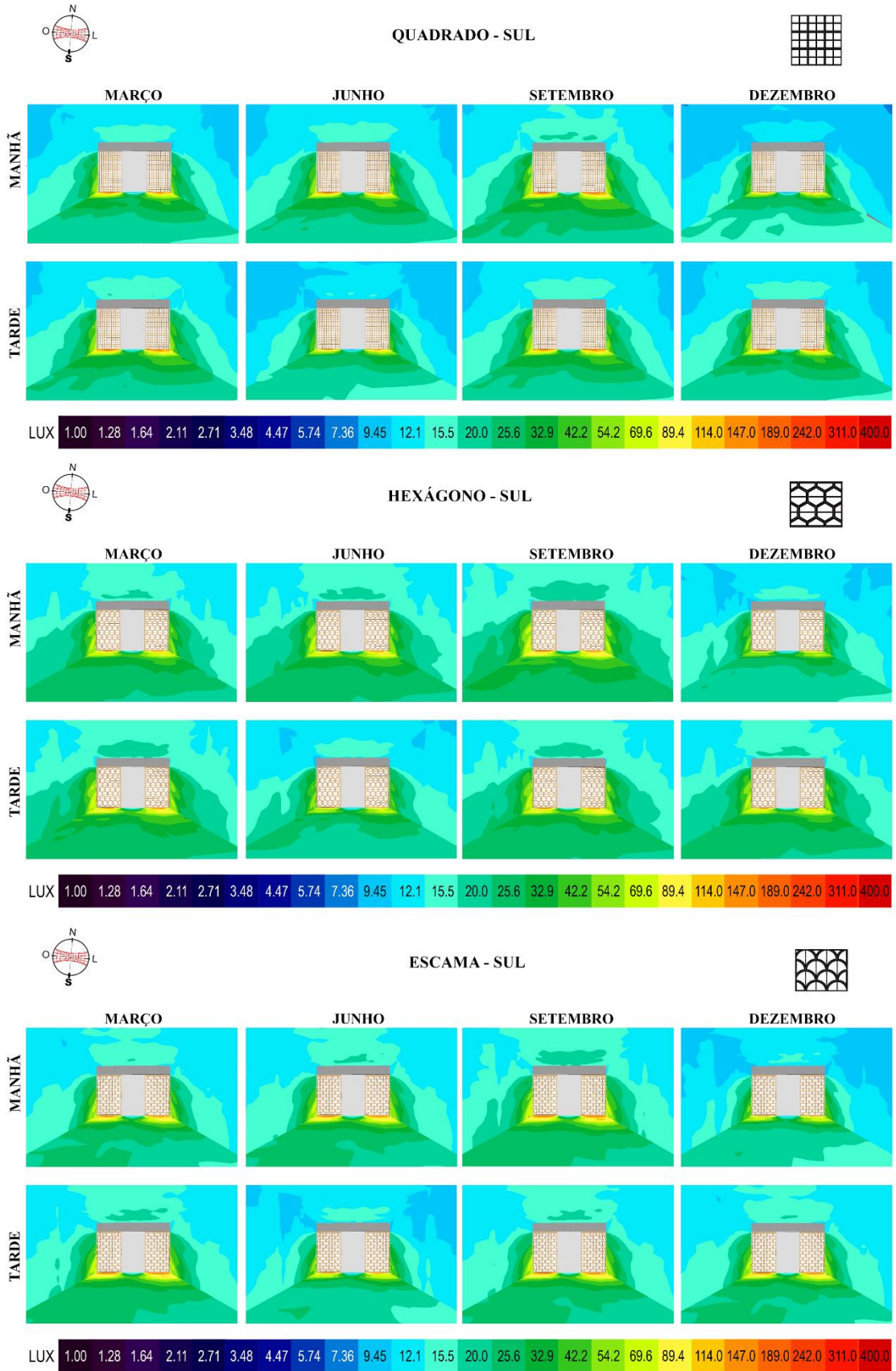


Figura 72: Distribuição, em perspectiva, da iluminância nas superfícies da Sala Sul com os elementos “quadrado” (acima), “hexágono” (ao centro) e “escama” (abaixo).



As imagens mostram que as três propostas propiciam uma grande penetração da luz natural nas salas. Mais uma vez, o elemento “hexágono” possui melhor desempenho, não somente por ter os maiores níveis de iluminância em todas as superfícies, como também por possibilitar que esta iluminância adentre a uma distância das aberturas maior, seguido pelo elemento “quadrado”, e por fim, “escama”.

É provável que isso aconteça por conta da configuração desses elementos, dado que o mecanismo de abertura dos elementos “quadrado” e “hexágono” são horizontais. Por conta disso, quando abertos esses componentes funcionam como “prateleiras de luz, elementos que promovem o aproveitamento da luz natural por rebatimento, redirecionando a iluminação e, com isso, aumentando o seu alcance em direção ao interior do ambiente (SILVA, 2015). O elemento “escama”, por ter em sua configuração os componentes de abertura no sentido vertical, não possui o mesmo efeito e, portanto, seu desempenho quanto ao alcance da iluminação no espaço é menor. Assim, ao invés de refletir a luz para que esta alcance mais profundidade no recinto, faz com que a iluminância se concentre nas áreas próximas às aberturas com níveis mais altos.

## 7 CONCLUSÃO

A pesquisa apresentada avaliou comparativamente o desempenho luminoso de três diferentes desenhos de elementos vazados concebidos para este trabalho, denominados “quadrado”, “hexágono” e “escama”. Os resultados foram obtidos por meio de simulação computacional realizada com o *software DIALux evo*, a qual proporcionou dados de fácil compreensão e eficientes ao formato da pesquisa. Os modelos de salas analisados foram representações de duas salas de aula do edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, na cidade de Belém-PA, com orientações a norte e a sul.

Após a validação dos modelos, a análise comparativa foi realizada em dois níveis: o primeiro deles referiu-se às análises de cada elemento proposto individualmente comparados à situação original das salas, com presença de venezianas de madeira sob parâmetros de valores de iluminância no plano de trabalho, distribuição e alcance da luz nos ambientes; o segundo nível de avaliação consistiu na análise dos desempenhos dos três elementos entre si, sob os mesmos parâmetros.

Foi demonstrado que nos três casos os elementos propostos proporcionaram um aumento significativo da iluminância média no nível do plano de trabalho, chegando a um aumento de até 208,5% em relação às venezianas com o elemento “hexágono” na Sala Sul. Esta sala foi a mais beneficiada pelas propostas, contando com os maiores percentuais de incremento nos níveis de iluminância. Todavia, nenhuma das propostas conseguiu alcançar valor médio de 300 lx no plano de trabalho recomendado pela NBR 5413/1992 (ABNT, 1992) em nenhum ponto das salas, fazendo necessário a complementação com sistemas de iluminação artificial para as condições ideais de usabilidade, especialmente nos dias de céu encoberto, dado que esta foi a condição de céu analisada. Porém, essa complementação poderia ser menor que a atualmente utilizada na faculdade, visto que as iluminâncias com esses sistemas é maior, proporcionando melhor eficiência energética.

As três propostas também obtiveram melhores resultados quanto ao alcance de luz, fazendo com que penetre mais profundamente no ambiente. Quanto à distribuição da luz, os três elementos tiveram performances inferiores a condição atual, com coeficiente de variação muito superiores, chegando a 82,9% com o elemento “escama”, na Sala Norte. Assumiu-se que este fenômeno acontece pelo aumento da iluminância no ambiente de forma desproporcional, uma vez que a maior parte da iluminação que chega à sala é através de apenas uma das paredes, e que a má distribuição é uma característica da iluminação presente nas salas estudadas: aberturas laterais e verticais.

Na comparação do desempenho luminoso obtido com as três propostas entre si, correlacionando-os com as características da geometria de cada um dos elementos, foi possível, assim, identificar que o elemento “hexágono” obteve a melhor performance, tanto quanto o nível de iluminância médio, quanto à distribuição e alcance da luz, em ambas as salas. Concluiu-se que isso ocorreu devido à área das perfurações desse elemento ser a maior dentre as três, e por seu componente de abertura ser na orientação horizontal, fazendo com que este funcione como uma “prateleira de luz”. O elemento “quadrado” também possui uma boa distribuição e alcance da luz, embora tenha tido os níveis mais baixos de iluminância média, controla melhor os níveis de iluminância máxima, por conta de conter a menor área de perfurações. O elemento “escama” teve o menor desempenho quanto à distribuição e alcance, por ser o único em que o componente de abertura está disposto no eixo vertical, contudo obteve um nível de iluminância média no plano de trabalho maior que o elemento “quadrado”.

O elemento “hexágono” foi o que obteve as melhores performances para as salas estudadas, todavia é possível que em outras situações seu comportamento mude. O elemento “quadrado” poderia ser a melhor solução em um ambiente que necessitasse de um controle de ofuscamento, uma vez que ele foi o que obteve a menor permeabilidade de luz. Já o elemento “escama” obteve o menor alcance, mas os níveis altos de iluminância próxima às aberturas, podendo vir a ser o mais indicado em casos onde o recinto seja menos profundo.

Acredita-se que as principais contribuições deste trabalho consistem no auxílio ao processo de escolha projetual que caracteriza o trabalho do arquiteto, e na concepção e otimização do desempenho luminoso de aberturas verticais na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo no que se refere à adequação climática visando o conforto ambiental e eficiência energética.

Por fim, entende-se que os objetivos propostos foram alcançados e que a realização desta pesquisa permitiu o aprofundamento da temática e direcionamento para trabalhos futuros envolvendo a análise integrada dos diferentes fatores envolvidos no projeto de elementos perfurados.

#### **Limitações da pesquisa**

O maior ponto limitador à abrangência e/ou aplicabilidade dos resultados encontrados na pesquisa é o fato da análise dos dados de iluminância realizada não contemplar as condições dinâmicas do céu e dos elementos no entorno da edificação, visto que essas variáveis não são simuladas pelo *software* utilizado. Essa condição fez com que o modelo simulado não pudesse ser aferido em 100% dos períodos estudados, em relação aos dados de medições de iluminância nas salas.

Como recomendação para estudos futuros, pontua-se que uma análise da sensibilidade dos resultados às variáveis envolvidas e utilização de dados com medições da iluminância externa em cada período e mais dias de medição interna por estação, podendo, assim, reduzir as discrepâncias entre valores de medições e simulações.

#### **Sugestões de pesquisas futuras**

Trabalhos futuros podem ser realizados com temática e metodologia semelhantes, porém com diferenças no campo de abrangência dos resultados, envolvendo: correlação do desempenho dos mesmos desenhos de elementos, mas com variáveis como profundidade e posicionamento dos módulos; desempenho dos elementos em outras tipologias, dimensões e orientação de ambiente; correlação com o desempe-

nho térmico; análise da proteção quanto à radiação solar de cada elemento e desempenho dos elementos em cidades com condições climáticas diferente da cidade de Belém.

## REFERÊNCIAS

ABNT: **NBR 15215** – “Iluminação natural”. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT: **NBR 15220** – “Desempenho térmico de edificações”. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT: **NBR 5413** – “Iluminância de interiores”. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT: **NBR ISO/CIE 8995** – “Iluminação de ambientes de trabalho”. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT: **Projeto 02:135.02-004** – “Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição”. Rio de Janeiro, 2003.

ARAÚJO, M. R. et al. **Análise da iluminação natural a partir de elementos vazados**. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5. 2007, Ouro Preto, MG. Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/Artigos/An%C3%A1lise%20da%20Ilumina%C3%A7%C3%A3o%20Natural%20a%20Partir%20de%20Elementos%20Vazados.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2019.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª Edição. Brasília: ANEEL, 2008.

CABÚS, R. C. **Análise do desempenho luminoso de sistemas de iluminação zenital em função da distribuição de iluminâncias**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

CORDEIRO, A. C. A.; Lukiantchuki, M. A.; Roriz, V. F.; Caram, R. M. **O uso de simulação computacional para a análise de desempenho lumínico em uma sala de escritório, utilizando os cobogós como uma segunda pele**. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2017, Balneário Camboriu, SC. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/en-cac/files/2017/topico6artigo10.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

FONSECA, R. W. da, PEREIRA, F. O. R., CLARO, A. Iluminação Natural: a contribuição de suas reflexões no interior do ambiente construído. **Pós**, São Paulo, v. 17, n. 28, p. 198-217, dez. 2010.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 7ª Edição. São Paulo: Ed. Studio Nobel, 2003.

GANSLANDT, R. e HOFMANN, H. **Handbook of Lighting Design**. 1ª ed. ERCO Edition, 1992.

GARROCHO, J. S. **Luz Natural e Projeto de Arquitetura**: Estratégias para iluminação Zenital em Centros de Compras. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília. 2005.

GIOVANNINI, L.; VERSO, V. R. M. L.; KARAMATA, B.; ANDERSEN, M. **Lighting and energy performance of an adaptive shading and daylighting system for arid climates**. Energy Procedia, v. 78, p. 370-375. 2015. Disponível em < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215024078>>. Acesso em 16 nov. 2019.

GONÇALVES, J.C.S., VIANNA, N.S., MOURA, N.C. da S. **Iluminação Natural e Artificial**. Procel: Rio de Janeiro, 2011.

KREMER, Adriano. **A influência de obstrução solar no nível e na distribuição interna de iluminação natural**: estudo de caso em protótipo escolar de Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2014.

MACÊDO, C.C. **Análise do Desempenho Térmico e Luminoso de Sistemas de Iluminação Natural que Utilizam a Luz Direta do Sol**. Florianópolis - SC, 2002. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Plano Nacional de Eficiência Energética – Premissas e Diretrizes Básicas**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/documents/36208/469534/Plano+Nacional+Eficiência+Energética+%28PDF%29.pdf/899b8676-ebfd-c179-8e43-5ef5075954c2?version=1.0>. Acesso em 10/10/2019.

MIRANDA, C. S.; CARVALHO, R. M.; TUTYIA, D. R. **Uma formação em curso: esboços da graduação em arquitetura e urbanismo**. Belém: UFPA, 2015. 182 p. Disponível em: <http://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/36>. Acesso em 06 dez 2019.

MONTEOLIVA, J M; PATTINI, A. Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleados. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 235-248, out/dez. 2013.

PALHINHA, M. S. de Jesus. **Sistemas de Sombreamento em Arquitectura**: Proposta de um novo método de concepção e dimensionamento. 2009. 171 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 2009.

PEREIRA, F. O. R., PEREIRA, R. C., CASTAÑO, A. G. Quão confiáveis podem ser os modelos físicos em escala reduzida para avaliar a iluminação natural em edifícios?. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 131-247, jan/mar. 2012.

PINTO, H. R. S.; QUEIROZ, N.; CARDOSO, A. R. B.; SOUSA, J. P. M. **O desenvolvimento de elementos de proteção de fachada responsivos: explorando o cobogó**. p. 519-527. São Paulo: Blucher, 2015. Disponível em < [http://papers.cumin-cad.org/data/works/att/sigradi2015\\_10.138.pdf](http://papers.cumin-cad.org/data/works/att/sigradi2015_10.138.pdf)>. Acesso em 19 nov. 2019.

SARQUIS, G. B.; CAMPOS NETO, C. M. A arquitetura como expressão de modernidade em Belém entre 1930 e 1964. **Cadernos de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo, v. 3, n. 1, p. 29-51, 2003.

SILVA, Paulo André Dantas. **Análise comparativa entre sistemas de prateleira de luz, com o uso de placas vazadas, em clima quente e úmido equatorial**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SOUZA, R. V. G. **Iluminação natural em edificações: cálculo de iluminâncias internas** – desenvolvimento de ferramenta simplificada. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

VIANNA, Nelson Solano e GONÇALVEZ, Joana Carla S.; **Iluminação e Arquitetura**. Geros s/c Ltda, São Paulo, SP, 2001.

VIEIRA, Antenor; BORBA, Cristiano; RODRIGUES, Josivan. **Cobogó de Pernambuco**. Recife, PE, 2012.

**APÊNDICE A – Dados primários das medições de iluminância (em lx) no plano de trabalho para as Salas Norte e Sul da FAU UFPA.**

<b>MEDIÇÕES</b>																	
<b>P</b>	<b>SALA NORTE</b>								<b>P</b>	<b>SALA SUL</b>							
	<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>					<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>			
	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>		<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>
<b>A1</b>	32,5	15,7	18,5	18,6	44,5	17,3	42,4	22,1	<b>A1</b>	9,2	6,4	12,3	10,1	11,4	8,1	11,7	15,3
<b>A2</b>	26,8	29,4	17,2	18,6	23,8	16,0	28,4	22,7	<b>A2</b>	9,5	6,8	11,5	9,9	11,7	9,2	10,5	14,3
<b>A3</b>	24,4	16,9	22,7	16,0	30,1	24,4	27,6	24,8	<b>A3</b>	6,7	6,5	11,4	9,7	12,2	6,5	9,2	14,2
<b>A4</b>	31,4	12,8	24,1	11,2	29,9	23,6	34,5	28,7	<b>A4</b>	7,8	6,3	11,9	9,1	13,1	6,6	15,9	12,1
<b>A5</b>	31,3	21,5	30,3	21,5	44,5	27,5	47,7	24,4	<b>A5</b>	7,9	3,8	10,7	8,8	10,2	5,4	16,1	11,9
<b>B1</b>	36,8	26,2	44,0	26,9	40,2	45,3	40,6	23,8	<b>B1</b>	8,1	9,7	17,0	8,7	20,6	8,1	15,0	10,9
<b>B2</b>	39,1	23,7	33,4	27,6	48,8	33,5	29,0	20,5	<b>B2</b>	9,3	9,9	17,5	8,4	17,4	10,6	13,4	10,7
<b>B3</b>	23,6	24,8	17,8	28,1	27,9	30,2	22,2	17,6	<b>B3</b>	13,6	11,5	24,2	7,9	22,6	9,0	13,9	9,6
<b>B4</b>	30,9	17,5	24,1	24,5	35,2	38,5	20,4	22,8	<b>B4</b>	9,4	9,4	20,1	7,3	16,2	6,8	12,2	9,4
<b>B5</b>	35,4	21,8	30,3	26,0	44,5	37,5	31,3	28,1	<b>B5</b>	7,8	6,2	15,4	7,0	15,1	8,5	11,3	9,0
<b>C1</b>	22,5	28,1	44,2	25,1	44,6	30,3	37,8	28,7	<b>C1</b>	16,3	12,1	17,2	11,3	20,7	9,1	10,4	10,2
<b>C2</b>	28,1	32,6	47,8	27,0	29,4	35,8	32,5	25,7	<b>C2</b>	18,1	13,3	16,3	11,7	22,2	16,6	13,5	11,2
<b>C3</b>	24,8	25,5	35,4	24,6	33,5	34,5	33,2	27,2	<b>C3</b>	15,6	12,6	15,8	11,9	19,9	15,1	10,2	11,5
<b>C4</b>	18,1	26,6	39,9	24,9	40,0	31,1	38,5	20,0	<b>C4</b>	13,0	11,4	16,9	10,8	19,4	12,3	10,0	10,9
<b>C5</b>	18,1	40,8	62,8	19,8	31,8	42,8	34,4	24,6	<b>C5</b>	8,1	8,5	12,3	10,2	17,8	9,5	9,2	10,4
<b>D1</b>	42,0	41,7	43,1	27,4	35,5	47,1	33,4	31,8	<b>D1</b>	15,9	17,4	19,7	13,5	18,9	17,3	16,6	16,2
<b>D2</b>	37,4	34,4	41,5	26,7	35,9	45,4	34,3	32,1	<b>D2</b>	19,1	18,5	20,3	14,4	23,4	18,3	17,3	16,0
<b>D3</b>	32,2	31,9	37,6	26,4	36,7	39,4	28,2	27,2	<b>D3</b>	17,4	17,3	20,1	13,2	22,6	19,6	13,6	15,9
<b>D4</b>	28,2	36,7	35,7	26,9	32,4	25,0	30,3	29,9	<b>D4</b>	18,4	15,4	20,7	14,1	21,8	17,5	13,1	15,4
<b>D5</b>	27,1	36,3	45,6	18,6	31,2	25,3	32,0	35,8	<b>D5</b>	16,2	14,5	19,9	13,9	20,0	15,9	13,7	14,8
<b>E1</b>	42,2	40,8	55,6	30,6	38,3	43,7	34,0	31,4	<b>E1</b>	19,4	18,0	18,7	16,7	21,7	10,3	21,2	19,2
<b>E2</b>	20,6	38,5	40,1	29,4	38,7	44,5	30,2	28,2	<b>E2</b>	15,7	16,7	16,8	16,4	21,4	14,3	20,7	19,1
<b>E3</b>	33,0	36,0	24,8	24,3	31,5	35,8	25,9	28,8	<b>E3</b>	15,4	15,2	15,6	15,4	17,6	12,6	17,7	18,6
<b>E4</b>	32,5	33,8	40,0	23,4	33,1	37,2	27,4	29,4	<b>E4</b>	16,7	15,5	23,5	16,3	20,9	15,1	21,7	18,9
<b>E5</b>	30,7	31,4	52,2	21,7	30,4	28,0	28,3	26,5	<b>E5</b>	16,1	14,8	21,3	16,2	20,5	18,9	23,3	18,4
<b>MÉD</b>	<b>30,0</b>	<b>29,0</b>	<b>36,3</b>	<b>23,8</b>	<b>35,7</b>	<b>33,6</b>	<b>32,2</b>	<b>26,5</b>	<b>MÉD</b>	<b>13,2</b>	<b>11,9</b>	<b>17,1</b>	<b>11,7</b>	<b>18,4</b>	<b>12,0</b>	<b>14,5</b>	<b>13,8</b>

**APÊNDICE B – Dados primários de iluminância (em lx) no plano de trabalho obtidos com o elemento “veneziana” para as Salas Norte e Sul da FAU UFPa.**

<b>SIMULAÇÕES COM O ELEMENTO "VENEZIANA"</b>																	
<b>P</b>	<b>SALA NORTE</b>								<b>P</b>	<b>SALA SUL</b>							
	<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>					<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>			
	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>		<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>
<b>A1</b>	16,0	16,0	18,0	13,0	17,0	13,0	16,0	16,0	<b>A1</b>	6,7	7,0	7,6	5,6	7,3	6,0	7,1	6,8
<b>A2</b>	15,0	15,0	17,0	12,0	16,0	13,0	16,0	15,0	<b>A2</b>	6,9	7,1	7,7	5,7	7,4	6,1	7,2	6,9
<b>A3</b>	15,0	15,0	17,0	12,0	16,0	13,0	15,0	15,0	<b>A3</b>	6,7	7,0	7,5	5,6	7,2	5,9	7,1	6,8
<b>A4</b>	16,0	17,0	18,0	13,0	18,0	14,0	17,0	16,0	<b>A4</b>	6,6	6,8	7,4	5,5	7,1	5,8	6,9	6,6
<b>A5</b>	18,0	18,0	20,0	15,0	19,0	15,0	19,0	18,0	<b>A5</b>	6,7	6,9	7,5	5,6	7,2	5,9	7,0	6,8
<b>B1</b>	22,0	23,0	26,0	18,0	24,0	19,0	24,0	23,0	<b>B1</b>	17,0	18,0	19,0	15,0	18,0	15,0	18,0	17,0
<b>B2</b>	23,0	23,0	26,0	18,0	25,0	19,0	24,0	23,0	<b>B2</b>	17,0	18,0	19,0	15,0	18,0	15,0	18,0	17,0
<b>B3</b>	23,0	24,0	26,0	19,0	25,0	20,0	24,0	23,0	<b>B3</b>	18,0	18,0	19,0	16,0	19,0	16,0	19,0	18,0
<b>B4</b>	24,0	25,0	27,0	20,0	26,0	21,0	25,0	24,0	<b>B4</b>	18,0	18,0	19,0	16,0	19,0	16,0	19,0	18,0
<b>B5</b>	25,0	26,0	28,0	20,0	27,0	21,0	26,0	25,0	<b>B5</b>	18,0	18,0	19,0	15,0	29,0	16,0	18,0	18,0
<b>C1</b>	35,0	36,0	40,0	27,0	38,0	29,0	37,0	35,0	<b>C1</b>	20,0	21,0	23,0	16,0	22,0	17,0	21,0	20,0
<b>C2</b>	32,0	33,0	37,0	25,0	35,0	27,0	34,0	32,0	<b>C2</b>	21,0	22,0	24,0	17,0	23,0	19,0	22,0	21,0
<b>C3</b>	29,0	31,0	34,0	23,0	32,0	25,0	31,0	30,0	<b>C3</b>	19,0	19,0	21,0	16,0	20,0	16,0	20,0	19,0
<b>C4</b>	31,0	33,0	36,0	25,0	34,0	26,0	33,0	31,0	<b>C4</b>	18,0	19,0	21,0	15,0	20,0	16,0	19,0	19,0
<b>C5</b>	35,0	37,0	40,0	28,0	38,0	30,0	37,0	35,0	<b>C5</b>	21,0	21,0	23,0	17,0	22,0	18,0	22,0	21,0
<b>D1</b>	44,0	46,0	51,0	34,0	49,0	37,0	47,0	45,0	<b>D1</b>	20,0	21,0	23,0	16,0	22,0	17,0	21,0	20,0
<b>D2</b>	41,0	43,0	48,0	32,0	45,0	35,0	44,0	42,0	<b>D2</b>	22,0	23,0	25,0	17,0	24,0	19,0	23,0	22,0
<b>D3</b>	30,0	31,0	35,0	24,0	33,0	25,0	32,0	30,0	<b>D3</b>	16,0	17,0	18,0	13,0	18,0	14,0	17,0	16,0
<b>D4</b>	34,0	36,0	40,0	27,0	38,0	29,0	37,0	35,0	<b>D4</b>	15,0	16,0	17,0	12,0	16,0	13,0	16,0	15,0
<b>D5</b>	42,0	44,0	49,0	33,0	47,0	36,0	45,0	43,0	<b>D5</b>	19,0	20,0	22,0	15,0	21,0	16,0	20,0	19,0
<b>E1</b>	56,0	59,0	65,0	44,0	62,0	47,0	60,0	57,0	<b>E1</b>	26,0	28,0	31,0	21,0	29,0	22,0	28,0	27,0
<b>E2</b>	46,0	48,0	53,0	36,0	51,0	38,0	49,0	46,0	<b>E2</b>	23,0	24,0	26,0	18,0	25,0	19,0	24,0	23,0
<b>E3</b>	17,0	18,0	20,0	14,0	19,0	15,0	18,0	17,0	<b>E3</b>	9,3	9,7	11,0	7,7	10,0	8,2	9,9	9,4
<b>E4</b>	35,0	37,0	41,0	28,0	39,0	30,0	38,0	36,0	<b>E4</b>	17,0	18,0	20,0	14,0	19,0	15,0	18,0	17,0
<b>E5</b>	52,0	55,0	61,0	40,0	58,0	44,0	56,0	53,0	<b>E5</b>	24,0	25,0	28,0	19,0	27,0	21,0	26,0	25,0
<b>MÉD</b>	<b>30,2</b>	<b>31,6</b>	<b>34,9</b>	<b>24,0</b>	<b>33,2</b>	<b>25,6</b>	<b>32,2</b>	<b>30,6</b>	<b>MÉD</b>	<b>16,5</b>	<b>17,1</b>	<b>18,6</b>	<b>13,5</b>	<b>18,3</b>	<b>14,3</b>	<b>17,4</b>	<b>16,6</b>

**APÊNDICE C – Dados primários de iluminância (em lx) no plano de trabalho obtidos com o elemento “quadrado” para as Salas Norte e Sul da FAU UFPA.**

<b>SIMULAÇÕES COM O ELEMENTO "QUADRADO"</b>																	
<b>P</b>	<b>SALA NORTE</b>								<b>P</b>	<b>SALA SUL</b>							
	<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>					<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>			
	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>		<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>
<b>A1</b>	20	21	23	17	22	18	21	20	<b>A1</b>	11,0	11,0	11,0	9,4	11,0	9,7	11,0	11,0
<b>A2</b>	20	21	23	17	22	18	21	20	<b>A2</b>	12	12	13	11	13	11	12	12
<b>A3</b>	22	23	25	19	24	20	23	22	<b>A3</b>	16	16	17	14	16	15	16	16
<b>A4</b>	25	26	28	22	27	23	26	26	<b>A4</b>	20	20	21	19	20	19	20	20
<b>A5</b>	22	23	25	19	24	20	23	23	<b>A5</b>	16	16	17	15	16	15	16	16
<b>B1</b>	25	26	29	20	28	22	27	26	<b>B1</b>	15	15	16	12	16	13	15	15
<b>B2</b>	25	26	29	20	28	22	27	26	<b>B2</b>	16	16	18	14	17	14	17	16
<b>B3</b>	25	26	29	21	28	22	27	26	<b>B3</b>	16	16	17	13	17	14	16	16
<b>B4</b>	27	28	30	22	29	23	28	27	<b>B4</b>	19	19	20	17	20	17	19	19
<b>B5</b>	27	28	30	22	29	23	28	27	<b>B5</b>	17	17	19	15	18	15	18	17
<b>C1</b>	40	42	46	32	44	34	43	41	<b>C1</b>	22	23	25	18	24	19	23	22
<b>C2</b>	38	40	44	30	42	32	40	38	<b>C2</b>	23	24	27	19	25	20	25	24
<b>C3</b>	34	36	40	27	38	29	37	35	<b>C3</b>	21	21	23	17	22	18	22	21
<b>C4</b>	36	37	41	28	39	30	38	36	<b>C4</b>	21	22	24	18	23	19	22	21
<b>C5</b>	39	41	45	31	43	33	42	40	<b>C5</b>	22	22	24	18	23	19	23	22
<b>D1</b>	72	75	84	56	79	60	77	73	<b>D1</b>	44	46	51	35	49	37	47	45
<b>D2</b>	67	70	78	52	74	56	72	68	<b>D2</b>	43	45	50	34	47	36	46	43
<b>D3</b>	44	46	51	34	48	37	47	44	<b>D3</b>	30	31	34	24	33	26	32	30
<b>D4</b>	56	59	65	44	62	47	60	57	<b>D4</b>	35	37	41	28	39	30	38	36
<b>D5</b>	65	68	75	50	71	54	69	65	<b>D5</b>	38	40	44	30	42	33	41	39
<b>E1</b>	139	146	163	107	154	116	149	141	<b>E1</b>	82	86	95	63	90	69	88	83
<b>E2</b>	128	134	149	99	142	107	137	129	<b>E2</b>	74	77	86	57	81	62	79	75
<b>E3</b>	24	25	27	19	26	20	25	24	<b>E3</b>	17	17	19	13	18	14	18	17
<b>E4</b>	97	102	114	75	108	82	104	98	<b>E4</b>	56	58	65	44	62	47	60	56
<b>E5</b>	123	129	144	95	137	103	132	125	<b>E5</b>	73	77	85	57	81	61	78	74
<b>MÉD</b>	<b>49,6</b>	<b>51,9</b>	<b>57,5</b>	<b>39,1</b>	<b>54,7</b>	<b>42,0</b>	<b>52,9</b>	<b>50,3</b>	<b>MÉD</b>	<b>30,4</b>	<b>31,4</b>	<b>34,5</b>	<b>24,6</b>	<b>32,9</b>	<b>26,1</b>	<b>32,1</b>	<b>30,6</b>

**APÊNDICE D – Dados primários de iluminância (em lx) no plano de trabalho obtidos com o elemento “hexágono” para as Salas Norte e Sul da FAU UFFA.**

<b>SIMULAÇÕES COM O ELEMENTO "HEXÁGONO"</b>																	
<b>P</b>	<b>SALA NORTE</b>								<b>P</b>	<b>SALA SUL</b>							
	<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>					<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>			
	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>		<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>
<b>A1</b>	21	21	23	17	22	18	22	21	<b>A1</b>	14	14	15	13	15	13	15	14
<b>A2</b>	22	23	25	18	24	19	23	22	<b>A2</b>	16	16	17	14	16	14	16	16
<b>A3</b>	25	26	28	22	27	23	27	26	<b>A3</b>	17	17	18	16	18	16	18	17
<b>A4</b>	27	28	30	24	29	25	28	27	<b>A4</b>	20	21	21	19	21	19	21	20
<b>A5</b>	25	26	28	21	27	22	26	25	<b>A5</b>	18	18	19	16	18	17	18	18
<b>B1</b>	29	30	33	23	32	25	31	29	<b>B1</b>	19	19	21	16	20	17	20	19
<b>B2</b>	29	30	33	23	31	25	30	29	<b>B2</b>	19	20	21	16	20	17	20	19
<b>B3</b>	28	30	32	23	31	25	30	29	<b>B3</b>	19	20	21	17	21	17	20	20
<b>B4</b>	30	31	34	24	32	26	31	30	<b>B4</b>	22	22	24	19	23	20	23	22
<b>B5</b>	29	30	33	24	32	25	31	29	<b>B5</b>	22	22	24	19	23	19	22	22
<b>C1</b>	48	50	56	38	53	41	51	49	<b>C1</b>	28	29	32	23	30	24	29	28
<b>C2</b>	46	48	53	36	51	39	49	46	<b>C2</b>	30	32	35	24	33	26	32	31
<b>C3</b>	40	41	46	31	43	34	42	40	<b>C3</b>	26	27	29	21	28	22	27	26
<b>C4</b>	43	45	50	34	47	37	46	44	<b>C4</b>	28	29	31	23	30	24	29	28
<b>C5</b>	46	48	54	37	51	39	49	47	<b>C5</b>	28	29	32	23	30	24	29	28
<b>D1</b>	76	80	89	59	84	64	82	77	<b>D1</b>	45	47	51	35	49	38	48	45
<b>D2</b>	73	77	85	57	81	62	78	74	<b>D2</b>	46	49	54	37	51	39	50	47
<b>D3</b>	54	56	63	42	59	45	58	54	<b>D3</b>	35	37	41	28	39	30	38	36
<b>D4</b>	58	61	68	46	64	49	62	59	<b>D4</b>	34	36	39	27	37	29	36	34
<b>D5</b>	69	72	80	54	76	58	73	69	<b>D5</b>	41	43	47	32	45	35	44	41
<b>E1</b>	166	175	194	128	183	139	178	168	<b>E1</b>	96	100	112	74	106	80	103	97
<b>E2</b>	133	139	155	102	147	111	142	134	<b>E2</b>	77	81	90	60	85	65	83	78
<b>E3</b>	33	35	39	26	37	28	36	34	<b>E3</b>	22	23	25	17	24	18	23	22
<b>E4</b>	96	101	112	74	106	80	103	97	<b>E4</b>	56	59	65	44	62	47	60	57
<b>E5</b>	144	151	168	111	159	120	154	145	<b>E5</b>	84	88	98	65	93	71	90	85
<b>MÉD</b>	<b>55,6</b>	<b>58,2</b>	<b>64,4</b>	<b>43,8</b>	<b>61,1</b>	<b>47,2</b>	<b>59,3</b>	<b>56,2</b>	<b>MÉD</b>	<b>34,5</b>	<b>35,9</b>	<b>39,3</b>	<b>27,9</b>	<b>37,5</b>	<b>29,6</b>	<b>36,6</b>	<b>34,8</b>

**APÊNDICE E – Dados primários de iluminância (em lx) no plano de trabalho obtidos com o elemento “escama” para as Salas Norte e Sul da FAU UFPA.**

<b>SIMULAÇÕES COM O ELEMENTO "ESCAMA"</b>																	
<b>P</b>	<b>SALA NORTE</b>								<b>P</b>	<b>SALA SUL</b>							
	<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>					<b>MANHÃ</b>				<b>TARDE</b>			
	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>		<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>	<b>MAR</b>	<b>JUN</b>	<b>SET</b>	<b>DEZ</b>
<b>A1</b>	19	19	21	16	20	17	20	19	<b>A1</b>	14	15	15	13	15	13	15	14
<b>A2</b>	20	21	22	17	21	18	21	20	<b>A2</b>	15	15	16	14	16	14	15	15
<b>A3</b>	30	31	32	28	31	28	31	30	<b>A3</b>	25	25	26	24	25	24	25	25
<b>A4</b>	32	33	34	30	34	31	33	33	<b>A4</b>	31	31	31	29	31	30	31	31
<b>A5</b>	30	30	32	27	31	28	31	30	<b>A5</b>	26	27	27	25	27	26	27	26
<b>B1</b>	24	25	27	19	26	21	25	24	<b>B1</b>	17	17	18	15	18	15	17	17
<b>B2</b>	23	24	26	19	25	20	25	24	<b>B2</b>	17	17	19	15	18	15	18	17
<b>B3</b>	23	24	26	19	25	20	24	23	<b>B3</b>	19	20	21	17	20	18	20	19
<b>B4</b>	26	26	28	22	27	23	27	26	<b>B4</b>	19	20	21	17	20	18	20	19
<b>B5</b>	27	28	30	23	29	24	28	27	<b>B5</b>	21	21	22	19	22	19	21	21
<b>C1</b>	35	36	40	27	38	29	37	35	<b>C1</b>	21	22	24	17	23	18	22	21
<b>C2</b>	35	36	40	28	38	30	37	35	<b>C2</b>	22	23	25	19	24	20	24	23
<b>C3</b>	30	31	34	24	33	26	32	30	<b>C3</b>	21	22	24	18	23	19	22	21
<b>C4</b>	31	33	36	25	34	27	33	32	<b>C4</b>	21	22	24	17	23	18	22	21
<b>C5</b>	35	36	40	28	38	30	37	35	<b>C5</b>	21	22	24	18	23	19	22	21
<b>D1</b>	63	66	73	49	69	52	67	63	<b>D1</b>	39	40	45	31	42	33	41	39
<b>D2</b>	61	64	71	47	67	51	65	61	<b>D2</b>	40	42	46	32	44	34	43	41
<b>D3</b>	42	44	49	33	46	35	45	42	<b>D3</b>	29	30	33	23	32	25	31	29
<b>D4</b>	49	52	57	39	55	42	53	50	<b>D4</b>	30	31	34	24	33	26	32	30
<b>D5</b>	58	61	67	45	64	49	62	58	<b>D5</b>	34	35	39	27	37	29	36	34
<b>E1</b>	173	181	202	133	191	144	185	175	<b>E1</b>	106	111	123	82	117	89	113	107
<b>E2</b>	143	150	167	110	158	119	153	144	<b>E2</b>	89	93	103	69	98	74	95	90
<b>E3</b>	25	26	29	20	28	21	27	26	<b>E3</b>	20	21	23	16	22	17	22	20
<b>E4</b>	114	120	134	88	127	96	123	116	<b>E4</b>	68	72	79	53	75	57	73	69
<b>E5</b>	149	157	175	115	165	125	160	151	<b>E5</b>	91	96	106	71	101	77	98	92
<b>MÉD</b>	<b>51,9</b>	<b>54,2</b>	<b>59,7</b>	<b>41,2</b>	<b>56,8</b>	<b>44,2</b>	<b>55,2</b>	<b>52,4</b>	<b>MÉD</b>	<b>34,2</b>	<b>35,6</b>	<b>38,7</b>	<b>28,2</b>	<b>37,2</b>	<b>29,9</b>	<b>36,2</b>	<b>34,5</b>

**APÊNDICE F** – Maquete eletrônica do prédio da FAU UFPA, modelada no software *SketchUp*, versão 2018.

