



**ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS:
DIMENSIONAMENTO DE ABERTURAS LATERAIS
(JANELAS) NO CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL**

JULIANA ANDRADE BORGES DE SOUSA

Brasília, julho de 2014.

Juliana Andrade Borges de Sousa

**ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS:
DIMENSIONAMENTO DE ABERTURAS LATERAIS (JANELAS)
NO CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, dentro da linha de pesquisa Paisagem, Ambiente e Sustentabilidade.

Autora:

Juliana Andrade Borges de Sousa

Orientadora:

Prof^a Dr^a Cláudia Naves David Amorim

Banca Examinadora:

Prof^o Dr. Márcio Albuquerque Buson

Prof^o Dr. Paulo Sérgio Scarazzato

Brasília, julho de 2014.

**ILUMINAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS: DIMENSIONAMENTO DE
ABERTURAS LATERAIS (JANELAS) NO CONTEXTO DO DISTRITO FEDERAL**

Juliana Andrade Borges de Sousa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de Brasília, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo, dentro da linha de pesquisa
Paisagem, Ambiente e Sustentabilidade.

Aprovado por:

Profª Drª. Cláudia Naves David Amorim - Orientadora

Profº Dr. Márcio Albuquerque Buson – Membro

Profº Dr. Paulo Sérgio Scarazzato – Membro

BRASÍLIA, JULHO DE 2014.

AGRADECIMENTOS

Meu primeiro agradecimento à Professora Cláudia Amorim, por sua dedicação à realização desse trabalho, com atenção, compreensão e presença constante, trazendo sempre novas contribuições e esclarecimentos para a minha formação. A sua orientação tornou esse processo muito agradável e significativo.

À Milena e Júlia que me permitiram um final de dissertação tranquilo, se ocupando e se preocupando por mim com a maior parte dos nossos trabalhos.

Aos estagiários João Francisco, Márcia Birck e Nayanna Nobre que tanto ajudaram em uma das partes mais cansativas desse trabalho.

À minha mãe, que vibra a cada passo meu.

A Júnior, meu irmão que também defenderá sua dissertação esse semestre, em quem me inspiro quando o trabalho parece muito difícil.

A André, que me oferece diariamente todo amor que preciso para realizar todos os meus objetivos.

À quem me acompanha todos os dias, com quem eu aprendo e que aprende comigo.

À Viviane e George.

Aos meus irmãos.

Ao pessoal de fora.

À Bianca.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BEN - Balanço Energético Nacional

CBDM - *Climate-Based Daylight Modelling* - Modelagem da Iluminação Natural baseada no Clima

CIE – Comissão Internacional de Iluminação

CIN - contribuição de iluminação natural

CRI - Componente de Reflexão Interna

DA - *Daylight Autonomy* - Autonomia de Luz Natural

DAcon - *Continuous Daylight Autonomy* - Autonomia de Luz Natural Contínua

DAmáx - *Maximum Daylight Autonomy* - Autonomia de Luz Natural Máxima

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FLD – Fator de Luz Diurna

GB - Normas de Gabarito

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IESNA - *Illuminating Engineering Society of North America* - Sociedade de Engenharia de Iluminação da América do Norte

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LabEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina

LACAM - Laboratório de Controle Ambiental e Eficiência Energética da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

NBR – Norma Brasileira

NGB - Normas de Edificação, Uso e Gabarito

NRCC - *National Research Council Canada* – Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá

PDL - Planos Diretores Locais

PR - Plantas Urbanísticas

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais

TRY – *Test Reference Year*

UDI - *Useful Daylight Illuminance* – Iluminância Útil de Luz Natural

USGBC – *United States Green Building Council*

O uso da iluminação natural em ambientes residenciais é importante como estratégia para maior qualidade ambiental e possível economia energética. Este uso depende de vários fatores, dentre os quais a dimensão das aberturas dos ambientes. Esta dissertação tem como objetivo investigar a influência do dimensionamento de aberturas laterais (janelas) no desempenho da luz natural em ambientes residenciais, no contexto do Distrito Federal. O método inclui simulação computacional baseada na Modelagem da Luz Natural Baseada no Clima (CBDM), através da utilização do *software* Daysim, considerando as exigências do Código de Obras e Edificações do Distrito Federal (COE-DF) e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais (RTQ-R). Os ambientes simulados – sala, quarto, cozinha, área de serviço e cozinha com área de serviço – tiveram suas áreas e aberturas laterais dimensionadas de acordo com os valores mínimos presentes no COE-DF. As seguintes obstruções foram consideradas: saliência, prismas, varandas e edifícios vizinhos. Foram considerados dois critérios de desempenho: 1) 100 lux de iluminância em 70% das horas diurnas e em 50% do espaço e 2) 100 lux de iluminância em 70% das horas diurnas e em 70% do espaço. Primeiramente foram realizadas 584 simulações para verificar se o dimensionamento de janelas com 1/8 da área de piso dos ambientes atende ao critério de desempenho 1. Em seguida, foram realizadas 61 simulações para determinar novas dimensões de aberturas. Os resultados permitem concluir que a proporção mínima atualmente exigida pelo COE-DF, equivalente a 1/8 da área de piso dos ambientes, atende aos critérios de desempenho propostos quando os ambientes se encontram em situações de nenhuma ou pouca obstrução (ambientes com “prismas”, “saliência”, “varanda”, “edifícios” ou “prismas + edifícios”). Entretanto, nos casos de combinação entre “saliência + edifícios”, “varandas + edifícios” e “prismas + varandas + edifícios”, em alguns casos se verificou que esta mesma proporção não permite o atendimento ao critério de desempenho 1, sugerindo a necessidade de novas proporções de janelas para esses casos. Quando não consideradas obstruções causadas por edifícios vizinhos a orientação que apresentou o melhor desempenho foi a Oeste, enquanto a Leste apresentou o pior desempenho. Porém, quando se considerou tais obstruções, a orientação Oeste passou a apresentar o pior desempenho enquanto a Leste passou a apresentar o melhor. Foi possível verificar que a obstrução causada por edifício vizinho que mais prejudicou o desempenho da luz natural foi o “edifício 3”. Os resultados também permitem indicar que, sob condições de pouca ou nenhuma obstrução à luz natural os ambientes atendem ao critério de desempenho 2. Portanto, o critério presente no RTQ-R (60 lux em 50% do espaço e 70% tempo para ambientes com proteções solares) poderia ser revisto, tornando-se mais rigoroso para esses casos (100 lux em 70% do espaço e 70% do tempo). Considerando que somente o dimensionamento das janelas não é o determinante para o desempenho da luz natural nos ambientes, também é desejável que o RTQ-R, em revisões futuras, incorpore a consideração ao entorno das edificações, especialmente aos afastamentos dos edifícios vizinhos. Assim, para ambientes que apresentem varandas, prismas ou saliências e com obstrução causada por edifícios vizinhos a menos de 10 metros de distância, indica-se que o dimensionamento de suas aberturas laterais deve ser de ao menos 1/6 da área de piso.

The use of daylight in residential buildings is important as a strategy for greater environmental quality and possible energy savings. This use depends on several factors, one of which is the size of the openings of the rooms. This work aims to investigate the influence of dimensioning of lateral openings (windows) on the performance of daylight in residential spaces in the context of the *Distrito Federal* in Brazil. The method includes computer simulation based on the Climate Based Daylight Modeling (CBDM), using the software Daysim, considering the requirements of the Buildings Code of the Federal District (COE-DF) and the Technical Quality Regulations for level of Energy Efficiency Residential Buildings (RTQ-R). The simulated rooms - living room, bedroom, kitchen, laundry area and kitchen with laundry area - had their areas and windows sized according to the minimum values present in the COE-DF. The following obstructions were considered: saliences, prisms, balconies and neighboring buildings. Two performance criteria were considered: 1) 100 lux in 70% of daylight hours, in 50% of space and 2) 100 lux at 70% of daylight hours, in 70% of the space. First, 584 simulations were performed to verify that the window's design of 1/8 of the floor area of the rooms met the criterion of performance 1. Then, 61 simulations were performed to determine new dimensions of openings. The results indicate that the minimum proportion currently required by COE-DF, equivalent to 1/8 of the floor area, meets the criteria of proposed performance when the room is in situations of little or no obstruction (rooms with "prisms", "saliences", "balcony", "buildings" or "prisms + buildings"). However, in some cases of combination of "saliences + buildings", "balconies + buildings" and "prisms + balconies + buildings", it was found that this ratio does not allow the service performance criterion 1, suggesting the need for new window's proportions for these cases. When not considered obstructions caused by buildings, the solar orientation that showed the best performance was West, while the East had the worst performance. However, when considering such obstructions, the orientation West began to show the worst performance while the East present the best performance. It was verified that the obstruction caused by building that more impaired the performance of daylight was "Building 3". The results also indicate that under conditions of little or no obstruction to daylight, environments easily meet the performance criterion 2. Therefore, the RTQ -R criterion (60 lux at 50% of the space and 70% of time for rooms with solar shields) could be revised, making it more accurate for these cases (100 lux at 70% space and 70% of the time). Considering that only the window's sizing is not the determining factor for the performance of daylight, it is also desirable that the RTQ-R in future revisions, incorporating consideration of the surrounding buildings, especially the distance of neighboring buildings. Therefore, it is indicated that the dimensioning of lateral openings should be at least 1/6 of floor area in situations where the rooms that have balconies, prisms or saliences and obstruction caused by neighboring buildings less than 10 feet away.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de nebulosidade média anual para o Distrito Federal. INMET (1961-1990)....	47
Figura 2: Mapa do Distrito Federal.....	48
Figura 3: Localização de Águas Claras e do Gama em relação ao Plano Piloto.....	49
Figura 4: Complexo residencial em Águas Claras.....	49
Figura 5: Complexo residencial em Águas Claras.....	50
Figura 6: Implantação dos blocos de edifícios no complexo residencial em Águas Clara.....	51
Figura 7: Complexo residencial na Quadra 1 do Setor de Indústrias do Gama.....	51
Figura 8: Complexo residencial na Quadra 3 do Setor de Indústrias do Gama.....	51
Figura 9: Diagrama esquemático dos procedimentos metodológicos	55
Figura 10: Esquema dos ambientes com mesma área e definição do pior caso quanto a iluminação natural resultante. Exemplo para sala.....	57
Figura 11: modelo da cozinha com área de serviço e divisória.....	56
Figura 12: Edifício em Águas Claras. Exemplo para determinação do prisma 1.....	58
Figura 13: Modelo tridimensional de ambiente com prisma 1.....	58
Figura 14: Modelo do prisma 1 em planta.....	58
Figura 15: Edifício em Águas Claras. Exemplo para determinação do prisma 2.....	59
Figura 16: Modelo tridimensional de ambiente com prisma 2.....	59
Figura 17: Modelo do prisma 2 em planta.....	59
Figura 18: Edifício em Águas Claras. Exemplo para determinação do prisma 3.....	59
Figura 19: Modelo tridimensional com prisma 3.....	59
Figura 20: Modelo do prisma 3 em planta.....	59
Figura 21: Edifício no Gama. Exemplo de varanda.....	62
Figura 22: Modelo tridimensional com varanda.....	60
Figura 23: Modelo com varanda em planta	60
Figura 24: Apartamento no Gama com ambiente (quarto) com saliência.....	63
Figura 25: Modelo tridimensional com saliência.....	61
Figura 26: Modelo com saliência em planta.....	61
Figura 27: Conjunto de edifícios em Águas Claras: afastamento de cerca de 10m.....	62
Figura 28: Modelo tridimensional com obstrução edifício 1.....	62
Figura 29: modelo com obstrução Edifício 1 em planta.....	62
Figura 30: Conjunto de edifícios no Gama: afastamento de cerca de 10m.....	62
Figura 31: Modelo tridimensional com obstrução edifício 2.....	62
Figura 32: modelo com obstrução Edifício 2 em planta	62

Figura 33: Edifícios em Águas Claras: afastamento de cerca de 5m.....	63
Figura 34: Modelo tridimensional com obstrução edifício 3.....	63
Figura 35: Modelo com obstrução Edifício 3	63
Figura 36: Modelo tridimensional com obstrução prisma 1 com edifício 1.....	64
Figura 37: Modelo com obstrução prisma 1 com edifício 1 em planta.....	64
Figura 38: Modelo tridimensional com obstrução prisma 1 com edifício 2.....	64
Figura 39: Modelo com obstrução prisma 1 com edifício 2 em planta.....	64
Figura 40: Modelo tridimensional com obstrução prisma 1 com edifício 3.....	65
Figura 41: Modelo com obstrução prisma 1 com edifício 3 em planta.....	65
Figura 42: Modelo tridimensional com obstrução prisma 2 com edifício 1.....	65
Figura 43: Modelo com obstrução prisma 2 com edifício 1 em planta.....	65
Figura 44: Modelo tridimensional com obstrução prisma 2 com edifício 2.....	66
Figura 45: Modelo com obstrução prisma 2 com edifício 2 em planta.....	66
Figura 46: Modelo tridimensional com obstrução prisma 2 com edifício 3.....	66
Figura 47: Modelo com obstrução prisma 2 com edifício 3 em planta.....	66
Figura 48: Modelo tridimensional com obstrução prisma 3 com edifício 1.....	67
Figura 49: Modelo com obstrução prisma 3 com edifício 1 em planta.....	67
Figura 50: Modelo tridimensional com obstrução prisma 3 com edifício 2.....	67
Figura 51: Modelo com obstrução prisma 3 com edifício 2 em planta.....	67
Figura 52: Modelo tridimensional com obstrução prisma 3 com edifício 3.....	68
Figura 53: Modelo com obstrução prisma 3 com edifício 3 em planta.....	68
Figura 54: Modelo tridimensional com obstrução saliência com edifício 1.....	68
Figura 55: Modelo com obstrução saliência com edifício 1 em planta.....	68
Figura 56: Modelo tridimensional com obstrução saliência com edifício 2.....	69
Figura 57: Modelo com obstrução saliência com edifício 2 em planta.....	69
Figura 58: Modelo tridimensional com obstrução saliência com edifício 3.....	69
Figura 59: Modelo com obstrução saliência com edifício 2 em planta.....	69
Figura 60: Modelo tridimensional com obstrução varanda com edifício 1.....	70
Figura 61: Modelo com obstrução varanda com edifício 1 em planta.....	70
Figura 62: Modelo tridimensional com obstrução varanda com edifício 2.....	70
Figura 63: Modelo com obstrução varanda com edifício 2 em planta.....	70
Figura 64: Modelo tridimensional com obstrução varanda com edifício 3.....	71
Figura 65: Modelo com obstrução varanda com edifício 3 em planta.....	71
Figura 66: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 1.....	72

Figura 67: Modelo com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 1.....	72
Figura 68: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 2.....	72
Figura 69: Modelo com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 2.....	72
Figura 70: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 3.....	73
Figura 71: Modelo com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 3.....	73
Figura 72: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 1.....	73
Figura 73: Modelo com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 1.....	73
Figura 74: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 2.....	74
Figura 75: Modelo com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 2.....	74
Figura 76: Modelos tridimensional com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 3.....	74
Figura 77: Modelo com obstrução varanda com prisma 3 e edifício	74
Figura 78: Exemplo de modelo de ambiente com malha de pontos.....	79
Figura 79: Exemplo de resultado gráfico de Autonomia de Luz Natural (DA) para ambiente quarto com prisma 2 voltado para sul.....	80
Figura 80: Exemplo de resultado gráfico de Autonomia de Luz Natural (DA) para ambiente sala com varanda e prisma 3 voltado para sul.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores para iluminância a ser mantida nos ambientes de acordo com tarefa ou atividade (ISO CIE 8595-1, ABNT, 2013).....	30
Tabela 2: Parâmetros mínimos de dimensionamento de ambientes e de aberturas para ambientes residenciais presentes no COE-DF.....	38
Tabela 3: Principais critérios avaliados nas pesquisas.....	45
Tabela 4: Condição de céu relacionado ao percentual de cobertura por nuvens. Fonte: ABNT, 2005.....	47
Tabela 5: Dimensões dos ambientes e das aberturas que serão analisadas.....	56
Tabela 6: Cores e respectivas refletâncias das superfícies dos ambientes.....	57
Tabela 7: Simulações computacionais que serão realizadas na primeira etapa de avaliação.....	75
Tabela 8: Exemplo de relatório de resultados para uma simulação (quarto com prisma 2 voltado para sul).....	79
Tabela 9: Tabela-resumo para os exemplos das Figuras 51 e 52.....	81
Tabela 10: Resultados das simulações para sala – aberturas com 1/8 da área de piso	84
Tabela 11: Resultados das simulações para os modelos de sala para aqueles que não atenderam o critério de desempenho 1 - abertura de 1/6 da área de piso.....	88
Tabela 12: Resultados das simulações para os modelos de sala para aqueles que não atenderam o critério de desempenho 1 - abertura de 1/5 da área de piso.....	89
Tabela 13: Resultados das simulações para os modelos de sala para aqueles que não atenderam o critério mínimo de desempenho - abertura de 1/4 da área de piso.....	90
Tabela 14: Resultados das simulações para os modelos de quarto – aberturas de 1/8 da área de piso.....	94
Tabela 15: Resultados das simulações para os modelos de QUARTO para aqueles que não atenderam o critério de desempenho 1 - abertura de 1/6 da área de piso.....	98
Tabela 16: Resultados das simulações para os modelos de quarto para aqueles que não atenderam o critério de desempenho 1 - abertura de 1/5 do piso	98
Tabela 17: Resultados das simulações para os modelos de cozinha – abertura de 1/8 da área de piso.....	102
Tabela 18: Resultados das simulações para os modelos de área de serviço – abertura de 1/8 da área de piso.....	104
Tabela 19: Resultados das simulações para os modelos de cozinha + área de serviço – abertura de 1/8 da área de piso.....	106
Tabela 20: Resultados das simulações para os modelos de cozinha + área de serviço com divisória – abertura de 1/8 da área de piso.....	108
Tabela 21: Resultados das simulações para os modelos de cozinha com área de serviço e divisória para aqueles que não atenderam o critério mínimo de desempenho - abertura de 1/6 da área de piso	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 1 para sala – desempenho mínimo.....	89
Gráfico 2: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 2 para sala – critério mais rigoroso.....	93
Gráfico 3: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 1 de iluminação natural para quarto.....	98
Gráfico 4: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 2 para quarto – critério mais rigoroso.....	100
Gráfico 5: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 1 de iluminação natural para cozinha conjugada com área de serviço com divisória.....	110
Gráfico 6: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 2 para cozinha conjugada com área de serviço com divisória - critério mais rigoroso.....	111

INTRODUÇÃO.....	16
JUSTIFICATIVA.....	20
OBJETIVOS	21
1. REFERENCIAL TEÓRICO	24
1.1 A Iluminação natural.....	24
1.1.1 Importância e Características	24
1.1.2 Iluminação Natural e Conforto Luminoso	25
1.1.3 Fatores de disponibilidade de luz natural	26
1.2 Ambientes Residenciais e as exigências de conforto luminoso	28
1.2.1 Recomendações internacionais	28
1.2.2 Normas brasileiras	29
1.2.3 Recomendações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais – RTQ-R para iluminação natural	31
1.3 Métodos para avaliação da luz natural.....	32
1.3.1 Software Daysim.....	33
1.4 O Código de Obras e Edificações do Distrito Federal (COE-DF) e demais legislações urbanas.....	37
1.4.1 Pesquisas brasileiras que relacionaram os Códigos de Obras e Edificações e o desempenho da iluminação natural nos ambientes	40
1.5 Distrito Federal: contextualização.....	46
1.5.1 O processo de verticalização nas Regiões Administrativas e os novos edifícios residenciais	49
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	52
2.1 Determinação dos modelos-base – variáveis arquitetônicas	53
2.1.1 Caracterização dos ambientes.....	54
2.1.2 Definição dos tipos de obstruções à luz natural	57
2.1.3 Definição do número de simulações.....	75
2.2 Determinação dos critérios de análise	76
2.2.1 Nível de iluminância do ambiente	76
2.2.2 Autonomia de luz natural (sDA).....	76
2.3 Procedimentos relativos às simulações computacionais.....	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
3.1 Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “sala”	83
3.2 Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “quarto”	93

3.3	Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “cozinha”	101
3.4	Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “área de serviço”	103
3.5	Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “cozinha conjugada com área de serviço”	106
3.6	Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “cozinha conjugada com área de serviço com divisória”	107
4.	CONCLUSÕES	111
4.1	Desempenho com relação ao tipo de ambiente e de obstrução	111
4.2	Aspectos relacionados ao dimensionamento das aberturas	112
4.3	Desempenho com relação à orientação	113
4.4	Aspectos relacionados aos critérios de desempenho estipulados.....	114
4.5	Comparação dos resultados com trabalhos anteriores.....	116
4.6	Limitações do trabalho	117
4.7	Sugestões para trabalhos futuros.....	118
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

INTRODUÇÃO

O uso da luz natural na arquitetura como elemento fundamental na obtenção de espaços internos de qualidade data das mais remotas épocas. Segundo Butera (2009), o uso do vidro nas janelas, principalmente a partir do século XV, possibilitou enormes avanços na qualidade de vida no interior das construções, quando ao homem foi permitido se proteger das intempéries e ao mesmo tempo desfrutar da luminosidade externa.

Ainda segundo o autor, somente se constatará uma verdadeira revolução no conforto no interior das edificações, inclusive do ponto de vista da iluminação, a partir do século XIX (com a invenção, dentre outros, da iluminação elétrica). Porém, tais inovações, ao passo que consentiram comodidades, deram origem a uma tecnologia de sistemas de instalações através da qual os espaços internos podiam ser resfriados, aquecidos e iluminados sem interações com o meio externo. (GROSSO, 2005)

Segundo Saxon (1983), a partir da invenção das lâmpadas fluorescentes nos anos 50, os edifícios vêm sendo projetados para depender desse recurso, e, portanto, os conhecimentos voltados para a integração do projeto com a luz natural vêm sendo esquecidos. 30450776

Segundo Baker et al. (1998), o uso da luz natural em edifícios oferece senso de orientação, de tempo e das condições meteorológicas ao usuário, além de possibilitar a criação de ambientes internos potencialmente mais confortáveis e atrativos.

Martau (2009) relacionou a luz natural e o desempenho humano em três formas principais de análise: por meio do sistema visual, do perceptivo e do circadiano. Os dois primeiros relacionados à obtenção de conforto visual e ao estímulo à percepção. O terceiro trata dos estudos sobre as relações entre a iluminação e o sistema circadiano, ou ritmos biológicos.

A luz natural possui propriedades diferentes daquelas providas por fontes de luz artificiais, possuindo uma distribuição espectral completa para o atendimento das funções biológicas dos seres humanos (Hathaway et al. 1992 apud Edward e Torcellini, 2002), ou seja, a luz natural é uma componente necessária na regulação do ritmo do corpo humano (sistema circadiano).

Entende-se, portanto, que o acesso à iluminação natural nos ambientes deve proporcionar a realização visual das tarefas, como também proporcionar conforto e saúde.

Paralelamente ao conforto gerado pelo uso da luz natural, a utilização deste recurso também se apresenta como fator indispensável na racionalização de energia nas habitações, podendo reduzir ou substituir o uso da iluminação artificial nas horas diurnas. Além disto, a luz natural possui alta eficiência luminosa quando comparada à luz artificial, possibilitando melhora na qualidade luminosa do ambiente. (PEREIRA, 1993).

No Brasil, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edifícios Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2012) abordam aspectos relacionados ao aproveitamento da iluminação natural nos ambientes para determinação do nível de eficiência energética dos edifícios, o que reforça a importância de se considerar a luz natural nas edificações, sejam elas comerciais ou residenciais, quando se visa a eficiência energética.

No contexto dos edifícios residenciais, a luz natural é fornecida aos ambientes internos - na maior parte dos casos - por aberturas laterais (janelas). Estas devem ser bem dimensionadas para que os ambientes sejam adequadamente iluminados. Além disso, outros fatores relativos à arquitetura do ambiente devem ser observados para que a iluminação natural do ambiente seja garantida.

Os Códigos de Obras e Edificações, ao propor o dimensionamento das aberturas laterais e demais variáveis arquitetônicas, deveriam auxiliar os projetistas na obtenção de ambientes com o mínimo de conforto luminoso. O que se constata, ao contrário, é que as exigências presentes em tais Códigos de Obra nem sempre são garantia de conforto luminoso no interior das edificações, como bem demonstram pesquisas realizadas nesse sentido (BUSON, 1998; AMARAL E PEREIRA, 1999; BRACARENSE E AL, 2005; AMORIM E LAMOUNIER, 2012).

Os Códigos de Obras e Edificações são instrumentos determinantes na regulação das construções dos edifícios e deveriam garantir condições mínimas de conforto ambiental,

incluindo-se níveis mínimos de iluminação natural garantidos pelas aberturas laterais. Como os Códigos de Obras e Edificações das cidades costumam sofrer alterações ao longo dos anos, seria apropriado que essas revisões abordassem a questão do dimensionamento das aberturas para iluminação pautando-se nos resultados gerados por pesquisas específicas na área, visando responder aos requisitos mínimos de conforto luminoso. Da mesma forma, outros documentos importantes - como o RTQ-R - podem sofrer melhorias no que diz respeito às indicações que influenciam o aproveitamento da luz natural à partir de estudos desse gênero.

O Distrito Federal, em específico, constatou nos últimos anos o aumento expressivo de edifícios residenciais multifamiliares, devido à criação de novos bairros, a exemplo do setor Noroeste de Brasília, e ao adensamento de cidades satélites existentes, como a exemplo de Águas Claras, Gama, e Samambaia.

Essas novas construções muitas vezes apresentam características que geram dúvidas quanto ao aproveitamento mínimo da luz natural no interior de seus ambientes devido sua configuração espacial, à dimensão das aberturas, ao excesso de obstruções geradas pelo próprio edifício ou à obstruções causada por edifícios vizinhos. No entanto, as características desses edifícios obedecem às legislações locais (Código de Obras e Edificações e demais instrumentos urbanísticos).

Esse fato reforça a dúvida sobre a eficácia das normas urbanas disponíveis quanto à capacidade de responder à questão do aproveitamento mínimo da luz natural em ambientes residências no Distrito Federal, sugerindo que, de fato, mais estudos são necessários para entender a influência do espaço construído sobre o desempenho da luz natural.

Nos últimos anos, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de conhecer mais profundamente o comportamento da luz natural e aprimorar sua aplicação nas edificações. Segundo Reinhart (2005), especialmente na última década, as ferramentas de simulação de iluminação natural tornaram-se incrivelmente sofisticadas e mais fáceis de serem utilizadas, permitindo prever, confiavelmente, o comportamento da luz natural em edifícios.

Esta precisão nas simulações computacionais é importante, pois, dentre outros motivos, a variabilidade das iluminâncias medidas da abóbada celeste pode ser igual ou superior a 15%, mesmo em dias aparentemente idênticos (GREENUP e MOORE, 2001). Por conta da grande variabilidade da luz natural ao longo do dia, se faz necessária uma análise mais precisa mediante ferramentas adequadas para a avaliação.

Atualmente, os métodos de avaliação mais difundidos ao redor do mundo são baseados no chamado “Fator de Luz Diurna - FLD”, que define um percentual mínimo de iluminação natural no interior dos ambientes em relação ao nível de iluminação exterior. O FDL parte do princípio de um tipo de céu encoberto padrão, não levando em consideração variações do potencial da luz natural em diferentes contextos climáticos ou orientação do edifício, além de não levar em consideração a luz emitida pelo Sol.

Segundo Mardaljevic (2013), atualmente é amplamente aceito que a Modelagem da Iluminação Natural Baseada no Clima (Climate-Based Daylight Modelling – CBDM) oferece os meios para os maiores avanços na análise da luz natural em edificações. Entretanto, o uso desses métodos ainda é restrito a pesquisadores ou especialistas da área.

A Modelagem da Iluminação Natural Baseada no Clima (CBDM) fundamenta-se em dados de radiação solar anual para um local específico, oriundos de um arquivo climático, e são geradas por meio de simulação computacional. Os resultados são apresentados em uma série de dados de iluminâncias e luminâncias dentro da edificação (CINTRA, 2011).

Segundo Mardaljevic (2013) as medidas baseadas no CBDM modelam a luz natural assim como ela é experimentada, com o efeito de iluminação do sol e céu juntos, e há mais de uma década tem sido utilizado de forma eficaz em uma série de projetos.

Assim, entende-se ser necessário que as normativas específicas para dimensionamento das aberturas para luz natural nos edifícios apresentem critérios de projeto fundamentados em pesquisas realizadas através de métodos baseados no CBDM, visando uma avaliação mais realista do desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

Dessa maneira, seria possível inserir nos Códigos de Obras e Edificações locais indicações mais precisas referentes à projeção das aberturas laterais, desconstruindo regras muitas vezes inadequadas ou demasiadamente generalistas, levando em consideração não somente a dimensão da janela em função da área de piso do ambiente, mas também em relação à sua orientação solar, localidade geográfica e possíveis obstruções externas.

Assim, este projeto de pesquisa coloca a seguinte questão para desenvolvimento: No contexto do Distrito Federal, qual seria o dimensionamento adequado das aberturas laterais dos ambientes de edifícios residenciais em função de sua área de piso e de sua orientação para que se garanta um desempenho mínimo da iluminação natural para essa localidade? Como variariam essas dimensões considerando diversos tipos de obstruções (beirais, varandas, edifícios vizinhos)?

JUSTIFICATIVA

Apesar de existirem indicações para o dimensionamento de aberturas laterais (janelas) no Código de Obra e Edificações do Distrito Federal (COE-DF), estas indicações não são feitas com base em modelos confiáveis, com o compromisso de averiguar-se se tais medidas, de fato, permitem um aproveitamento mínimo da luz natural nos ambientes.

É importante que futuras revisões no COE-DF sejam realizadas com base em pesquisas que levem em consideração os condicionantes locais, e no caso das aberturas laterais para aproveitamento de luz natural, considerados também orientação solar e localização geográfica, visando a garantia de níveis mínimos de iluminâncias.

A obrigatoriedade do cumprimento da recém-lançada Norma de Desempenho, NBR 15.575 (ABNT, 2013) por parte dos agentes responsáveis pela construção de novos edifícios abre caminho para a discussão de aspectos relacionados ao aproveitamento da luz natural nas edificações residenciais, principalmente no que tange à maneira de se garantir o mínimo de iluminância estipulada no interior dos cômodos. Da mesma forma, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2012) inclui recomendações que podem auxiliar na avaliação do desempenho da luz natural em ambientes residenciais.

Independentemente dos critérios utilizados na NBR 1.575 ou no RTQ-R, permanece a necessidade de se estudar as variáveis arquitetônicas em função do aproveitamento da luz natural de acordo com a localidade do projeto, e de se tentar uma maneira de incorporar os conceitos já conhecidos das pesquisas mais recentes em iluminação natural à prática profissional dos projetistas.

Atualmente, no Brasil, existem em andamento alguns estudos visando compreender o comportamento da luz natural nos ambientes e parametrizar algumas variáveis para sua aplicação, levando em consideração as características locais do território brasileiro. Esses estudos vêm sendo desenvolvidos em universidades em todo o Brasil, e, na Universidade de Brasília, especificamente, este estudo está sendo realizado pelo Laboratório de Controle Ambiental - LACAM, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, dentro de uma linha de pesquisa vinculada ao CIE Brasil (Comissão Internacional de Iluminação – Divisão 3), coordenada pela professora Cláudia Naves David Amorim. Dentre estes, pode-se citar os trabalhos de Bezerra (2011), Cintra (2011) e Lamounier (2012).

Este trabalho, portanto, se enquadra nesta linha de pesquisa, alinhado com outras pesquisas em andamento em âmbito nacional, com as Universidades Federais de São Paulo, de Santa Catarina, de Minas Gerais, do Rio Grande do Norte e de Alagoas.

Desta forma, as questões que esta pesquisa pretende responder vão ao encontro da necessidade de subsidiar melhorias no projeto de edificações residenciais através do aprimoramento das exigências do COE-DF e no RTQ-R no que se refere ao melhor aproveitamento da iluminação natural, averiguando-se o impacto das variáveis arquitetônicas e das obstruções externas no desempenho desta nos ambientes.

Objetivo Geral

Investigar o impacto de variáveis arquitetônicas, com especial destaque às aberturas laterais, no desempenho da luz natural em ambientes internos residenciais, por meio de simulação computacional baseada na Modelagem da Luz Natural Baseada no Clima (CBDM), considerando o contexto do Código de Obras e Edificações do Distrito Federal (COE-DF) e as indicações presentes no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais - RTQ-R para desempenho da luz natural.

Objetivos Específicos

- Definir modelos de ambientes a serem avaliados que sejam representativos das tipologias residenciais no Distrito Federal;
- Verificar impacto de variáveis arquitetônicas como dimensões de aberturas laterais e obstruções externas no desempenho da iluminação natural em ambientes residenciais de permanência prolongada no Distrito Federal;
- Verificar adequação das exigências presentes no RTQ-R para aproveitamento da luz natural em ambientes residenciais;
- Propor novas dimensões de área de aberturas laterais e novos parâmetros para determinação de obstruções à luz natural no âmbito do COE-DF.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 A Iluminação natural

1.1.1 Importância e Características

A luz natural tem uma importante dimensão do ponto de vista ambiental, funcional e qualitativo da arquitetura, se tratando de um importante quesito para atingir maior qualidade ambiental e a consequente sustentabilidade nos espaços construídos. (AMORIM, 2007)

Assim, a importância do aproveitamento da luz natural em ambientes residenciais se dá principalmente por duas razões: as necessidades humanas e o potencial de economia energética.

Com relação aos aspectos de eficiência energética, a luz natural é um recurso gratuito, renovável e de alta eficiência luminosa. No Brasil, 15% da eletricidade consumida é utilizada para iluminação de ambientes (EPE, 2012), e recentes estudos concluíram que é possível alcançar elevados níveis de economia através do uso da luz natural.

Pesquisas realizadas por Didoné e Pereira (2009) através de simulação computacional de luz natural para a cidade de Florianópolis, constataram que o aproveitamento da luz natural proporcionou uma redução de 20% a 62% no consumo de energia com iluminação artificial.

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), lançado pela Portaria nº 449 do Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) no ano de 2010 e revisado no ano de 2012 (BRASIL, 2012), que visa classificar edificações habitacionais segundo seu nível e eficiência energética, aborda a luz natural tanto nos pré-requisitos de cálculo quanto na parte de bonificações, reforçando a importância da luz natural como recurso fundamental para eficiência energética das residências.

Com relação aos aspectos das necessidades humanas, a Sociedade de Engenharia de Iluminação da América do Norte (*Illuminating Engineering Society of North America*) diz que “iluminação de boa qualidade pode apoiar o desempenho visual e a comunicação interpessoal, além de melhorar os nossos sentimentos de bem-estar. (IESNA, 2010)

Iluminação de má qualidade pode ser desconfortável e confuso, podendo inibir o desempenho visual”.

Ainda de acordo com a IESNA, a luz natural pode ser utilizada para ajudar a iluminar um espaço, mas deve-se tomar cuidado para controlar a quantidade e distribuição da luz e para controlar o ganho de calor.

Segundo Baker et al. (1998), o uso da luz natural em edifícios oferece senso de orientação, de tempo e das condições meteorológicas ao usuário, além de possibilitar a criação de ambientes internos potencialmente mais confortáveis e atrativos.

Diversas pesquisas apontam as razões pela preferência das pessoas por ambientes iluminados naturalmente.

Segundo Edwards e Torcellini (2002), diferentes comprimentos de onda espectrais ou distribuições de luz têm efeitos diversos sobre o corpo humano. A maioria das fontes de luz artificial não apresenta a distribuição espectral necessária para a completa realização das funções biológicas (Hathaway et al. 1,992 apud Edwards e Torcellini, 2002).

A maioria dos seres humanos prefere a luz natural por esta ser composta por um espectro equilibrado de cor, com a sua energia de pico ligeiramente na região azul-verde do espectro visível (Liberman 1991, apud Torcellini e Edwards, 2002).

Neste sentido, Hopkinson et al.(1980) levantaram outras questões quanto à preferência das pessoas pela luz natural. Segundo os autores, isto pode acontecer devido ao fato de que a luz natural, provida geralmente por aberturas laterais, gera uma modelagem mais agradável do ambiente quando comparada àquelas geradas por fontes de luz artificiais, geralmente colocadas no teto. Adiantando-se à inconclusividade deste argumento, o autor completa que esta sensação de satisfação com a luz natural pode estar ligada à possibilidade de visão para o exterior.

Willian Lam (1977) foi um dos pioneiros a definir o contato visual com o exterior como uma necessidade biológica de informação visual. Ao ser privado desse contato, o ser humano estaria em desconforto. Estudos como os de Farley e Veitch (2001) concluíram que visuais do exterior podem aumentar o trabalho e o bem-estar de inúmeros modos, incluindo satisfação com a vida, assim como problemas de desorientação e influência na função cognitiva acontecem na ausência de padrões de luz natural.

1.1.2 Iluminação Natural e Conforto Luminoso

Conforto visual, segundo consta na Norma Europeia EN12464-1 (EN, 2009), é a situação onde se tem um sentimento de bem-estar, de forma indireta, contribuindo para um alto nível de produtividade.

O termo conforto visual é um conceito amplo, que abrange aspectos pessoais muitas vezes não mensuráveis, pois está relacionado à condição de bem-estar do indivíduo em função de seu campo visual. Segundo Baker (1998) a percepção visual é um processo cognitivo complexo, onde o fluxo de informações que confere ao indivíduo tal percepção é composto pela convergência de fatores quantitativos e qualitativos relacionados à luz, como iluminância suficiente (quantidade de luz), proporção de luminâncias, uniformidade, ausência de ofuscamento, visão para o exterior, etc.

Já o termo conforto luminoso trata de aspectos mais específicos dentro do conforto visual, e abrange aspectos relacionados estritamente às condições mensuráveis de iluminação, como níveis de iluminância e luminâncias.

Schmid (2005) se refere ao conforto luminoso como os ajustes dos níveis absolutos e relativos de brilho das coisas ao propósito que temos para os ambientes, sem ferir os olhos e sem sofrer estresse, vendo mais daquilo que cada tarefa nos pede e menos daquilo que nos desvia a atenção da tarefa.

Sabe-se que para realização de qualquer tarefa em um determinado ambiente, este deve estar adequadamente iluminado. Essa iluminação deve permitir que o indivíduo desenvolva suas tarefas visuais com o máximo de acuidade visual e mínimo de esforço, havendo assim menores riscos de prejuízo à sua visão e de acidentes.

Para cada tipo de tarefa que o indivíduo venha a realizar existem níveis adequados de iluminação para que estas sejam realizadas de maneira segura e confortável, seja esta iluminação proveniente de fonte natural ou não. A quantidade de luz necessária dependerá da exigência de precisão da tarefa, do tipo de ambiente e da idade de quem executa.

Assim, em se tratando de iluminação natural, o aspecto quantitativo da luz (nível de iluminância) é um dos primeiros a serem estudados e compreendidos para o atendimento das necessidades de conforto visual e luminoso.

1.1.3 Fatores de disponibilidade de luz natural

A disponibilidade de luz natural se refere à quantidade de luz natural proveniente do sol e do céu para uma localidade, data, hora e condição de céu específicas (IESNA, 2010). Varia em função da altura do sol no céu e das condições de nebulosidade e turvamento da atmosfera.

A sazonalidade tem influência na disponibilidade de luz natural por conta do movimento do sol, que se dá de maneira diferente de acordo com a época do ano e da hora do dia, estabelecendo variações de luminosidade.

A condição de céu é abordada na norma ABNT 15215 –Iluminação Natural – onde são apresentados os seguintes tipos de céu: céu encoberto, céu claro e céu parcialmente encoberto. Essas três condições são assim classificadas com base na razão de cobertura do céu por nuvens, expressa em décimos, numa escala de 0,0 para céu sem nuvens a 1,0 para céu completamente encoberto. Segundo Santos (2009), a iluminância de um céu encoberto é relativamente baixa (entre os 5.000 e 20.000 lux), quando um céu claro pode apresentar valores entre 60.000 e 100.000 lux, o que comprova a influência da condição de céu predominante na disponibilidade de luz natural.

Segundo os dados das Normas Climatológicas do INMET (1992), a grande maioria das cidades brasileiras apresenta como condição média anual o céu parcialmente encoberto, sendo que apenas duas se diferem desta condição: Belém, com predominância anual de céu encoberto e Goiânia, com predominância anual de céu claro.

A latitude do local também exerce influência na disponibilidade de luz natural, uma vez que em regiões de baixas latitudes, a duração do dia e da noite são semelhantes e não apresentam uma grande variação nas diferentes estações do ano. Em regiões de altas latitudes, o mesmo não acontece. No verão os dias são muito mais longos do que as noites, enquanto no inverno os dias são mais curtos e as noites mais longas. (SANTOS, 2009)

Paralelamente aos aspectos relacionados ao clima local que influenciam na disponibilidade de luz no projeto, estão as variáveis que interferem no desempenho da luz nos ambientes internos. Estas podem ser resumidas em: implantação (aspecto

relativo à orientação do ambiente), características do ambiente e características do entorno.

A orientação para qual o ambiente interno está voltado é de grande importância no que se refere ao aproveitamento da luz natural no seu interior. Quando o ambiente está voltado para as regiões do céu por onde se dá o percurso solar, este tenderá a receber maiores intensidades luminosas e por períodos mais longos do dia, mesmo em regiões com céu encoberto.

Da mesma forma, o contexto urbano interfere significativamente no desempenho da luz natural nos ambientes. Obstruções naturais ou construídas podem diminuir ou aumentar a quantidade de luz que chega ao interior de um edifício. Uma obstrução pode, por exemplo, bloquear a visão de parte do céu, diminuindo os níveis de iluminação natural no ambiente, ou refletir a luz do Sol para seu interior.

Além disto, as próprias características do ambiente (variáveis arquitetônicas) são fundamentais quando se trata do desempenho da luz natural.

As principais variáveis arquitetônicas que interferem diretamente no desempenho da luz natural são: dimensão das aberturas, profundidade do ambiente, presença de elementos de proteções solar e refletância das superfícies internas.

As dimensões das aberturas interferem diretamente no aproveitamento da luz natural no interior dos ambientes. Segundo Cintra (2011), ao mesmo tempo em que aberturas amplas podem garantir melhores níveis de luz natural e garantir vista para o exterior, há um limite da iluminância que permite o conforto visual. E ainda, janelas muito grandes permitem maiores trocas térmicas com ambiente externo (condução, convecção e radiação), podendo gerar desconforto térmico devido ao aumento da transmissão de carga térmica para o interior.

Geralmente, a iluminação natural em ambiente residenciais é garantida por aberturas laterais, e a iluminação provida dessa forma possui como característica a desuniformidade em termos de distribuição no ambiente, pois o nível de iluminância diminui rapidamente com o aumento da distância da janela. (BAKER e STEEMERS, 2002 e VIANNA e GONÇALVES, 2007).

Segundo Bogo (2007), quando existem obstáculos junto às aberturas, como no caso dos elementos de proteção solar, a trajetória da luz natural transmitida é modificada, assim como sua quantidade, afetando a iluminação natural no interior das edificações em termos quantitativos e sua distribuição espacial. Esta influência ocorre devido aos múltiplos processos de reflexão entre os elementos de controle solar que bloqueiam/filtram parcialmente a luz natural incidente na abertura, e modificam direção da luz para o ambiente interno.

Hopkinson, Longmore e Petherbridge (1980), afirmam que apesar de as aberturas permitirem a penetração da luz natural no ambiente, são as características das superfícies internas que mais influenciarão na distribuição da luz natural no ambiente, que por reflexões permitirão atingir maior profundidade no espaço e diminuirão os contrastes entre a área iluminada diretamente e a área sombreada. Quando a luz incide nas superfícies opacas parte dela é absorvida e parte dela é refletida. Assim a razão entre a luz refletida e a luz incidente na superfície, é a da refletância da superfície, também conhecida como fator de reflexão. Desta forma, cores claras refletem mais luz que cores escuras, interferindo fortemente no comportamento da luz no interior dos ambientes.

1.2 Ambientes Residenciais e as exigências de conforto luminoso

1.2.1 Recomendações internacionais

Em pesquisa realizada para ambientes residenciais, Mardaljevic (2011) considerou o índice de 100 a 300 lux baseando-se em pesquisa de relatos de preferências e comportamentos dos ocupantes em escritórios, nos quais muitas vezes se verificam problemas originados por ofuscamento nas telas dos computadores. O autor afirma que como as tarefas realizadas em uma residência não apresentam as mesmas necessidades de ambientes de escritório, ainda há incerteza sobre os limites aceitáveis dos níveis de iluminância para esses ambientes.

Portanto, vê-se que, mesmo levando-se em conta autores e pesquisas internacionais, verifica-se uma carência na determinação de níveis de iluminância e de parâmetros relacionados ao desempenho da luz natural em ambientes residenciais. A maioria dos

critérios disponíveis se referem às exigências em ambiente de trabalho, onde as tarefas realizadas não são as mesmas que acontecem em uma residência.

Além da dificuldade em se estabelecer um critério para o nível mínimo de iluminância para ambientes residenciais, verifica-se também a ausência de critérios para determinar sob qual situação espacial o nível mínimo de iluminância deve ser obedecido, ou seja, em que percentual da área do ambiente o nível mínimo de iluminância deverá ser mantido.

Uma das únicas indicações que oferecem alguma orientação neste sentido provém da Sociedade de Engenharia de Iluminação da América do Norte (*Illuminating Engineering Society of North America – IESNA, 2012*) e do *Green Building Council (USGBC, 2009)*.

A IESNA (2012) indica que ambientes comerciais e de escritórios deverão apresentar nível de 300 lux de iluminância em pelo menos 50% das horas diurnas de um ano de referência em pelo menos 55% da sua área.

Já o referencial *Leadership in Energy and Environmental Design – LEED (GBC, 2010)* exige, somente para ambientes de trabalho e para a concessão de um crédito, que se mantenha a iluminância em um intervalo (de 270 a 5.400 lux) que deverá ser alcançado em 75% do espaço, quando somando-se todas as áreas de ambientes de trabalho. Para obtenção de um crédito extra, este percentual deverá ser superior a 95%.

1.2.2 Normas brasileiras

Para o Brasil, a norma ISO/CIE 8995 - Iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior (ABNT, 2013), que substituiu as normas ABNT NBR 5413 (ABNT, 1992) e ABNT NBR 5382 (ABNT, 1985), indica os valores mínimos de iluminância para tarefas em áreas internas de trabalho. Entretanto, as indicações dessa norma podem servir como uma base para compreensão das exigências que acontecem nas atividades residenciais.

A Tabela 1, a seguir, elenca alguma das tarefas e atividades previstas para ambientes comerciais mas que tem similaridade com aquelas que acontecem em ambientes residenciais.

Tabela 1: Valores para iluminância a ser mantida nos ambientes de acordo com tarefa ou atividade (ISO CIE 8595-1, ABNT, 2013)

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Iluminância mantida (lux)
Áreas gerais da edificação	
Sala de espera	200
Refeitório / Cantinas	200
Salas de descanso	100
Lavanderias e limpeza a seco	
Lavagem e limpeza a seco Passar roupas	300
Restaurantes e hotéis	
Cozinha	500

Mesmo que as exigências para iluminância não sejam necessariamente as mesmas para ambientes comerciais e residenciais, é possível perceber que atividades relacionadas a descanso são as que necessitam de menor quantidade de luz, em comparação às outras atividades listadas, seguida das atividades relacionadas a estar e jantar, das relacionadas à limpeza de roupas e por fim àquelas relacionadas à cozinha, que necessitam de maior quantidade de luz por conta da complexidade das tarefas ali executadas.

A norma brasileira que trata especificamente de iluminação natural é a Norma ABNT NBR 15215 (ABNT, 2005). Esta norma estabelece conceitos e define os termos relacionados à iluminação natural e ao ambiente construído, estabelece procedimentos estimativos de cálculo da disponibilidade da luz natural e de verificação experimental das condições de iluminância e luminância de ambientes internos, porém, não faz qualquer menção quanto aos níveis de iluminância adequados para iluminação natural.

A Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, ABNT NBR 15575 (ABNT, 2012), atualmente é a única norma no Brasil que estabelece níveis mínimos de iluminâncias para a luz natural em ambientes residenciais. Na parte específica que trata de conforto luminoso, estabelece valores mínimos a serem atendidos pela luz natural e artificial. Contando unicamente com iluminação natural, os níveis gerais de iluminamento nas diferentes dependências do edifício habitacional devem atender ao nível mínimo de desempenho de 60 lux. Este valor equivale a 60% da iluminação necessária utilizando iluminação artificial. Esta referência de valor mínimo para iluminação natural deriva da norma alemã DIN 5034.

1.2.3 Recomendações do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais – RTQ-R para iluminação natural

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais – RTQ-R (BRASIL, 2012) também faz exigências quanto à iluminação natural dos ambientes residenciais para determinação do nível de eficiência energética das unidades habitacionais autônomas (apartamentos ou casas) e para pontuação extra através de bonificação.

Como pré-requisito do cálculo de eficiência energética dos ambientes de permanência prolongada, é exigido que a soma das aberturas para iluminação de cada ambiente seja no mínimo equivalente a 12,5% da área de piso do ambiente (ou, equivalente a 1/8). O não atendimento a este pré-requisito implica em no máximo nível C de eficiência energética para a envoltória do ambiente, ou seja, o cálculo de eficiência energética para o ambiente é prejudicado.

Como possibilidade de bonificação, o RTQ-R possibilita a obtenção de 0,3 pontos quando, por simulação computacional, se comprova que a maioria dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia sem proteção solar mantém nível de 60 lux de iluminância em 70% do ambiente, durante 70% das horas com luz natural no ano, ou, quando esses mesmos ambientes apresentarem proteção solar, deve-se comprovar a obtenção de 60 lux de iluminância em 50% do ambiente, durante 70% das horas com luz natural no ano.

Os critérios de exigência adotados pelo RTQ-R significam um avanço importante em termos de indicações para desempenho da luz natural, pois, além de informar o nível mínimo a ser alcançado, ele estipula as condições de atendimento no espaço e durante as horas diurnas. Este modo de exigência está alinhado com as mais recentes indicações internacionais (IESNA, 2012), e permite que a avaliação seja realizada levando em conta toda condição anual de iluminância do local, e não somente horas e dias específicos do comportamento da luz natural nos ambientes.

Entretanto, o índice utilizado na NBR 15575 e no RTQ-R como nível mínimo de iluminância pode ser considerado desatualizado. Para Reinhart (2005), 100 lux é o valor

mínimo para iluminância útil provido por iluminação natural. Para Mardaljevic (2011), em se tratando de iluminação natural, níveis de iluminâncias na gama de 100 a 300 lux são considerados eficientes, quer como a única fonte de iluminação, ou em conjunto com a iluminação artificial.

1.3 Métodos para avaliação da luz natural

Atualmente, no Brasil e na maior parte do mundo, as bases para a avaliação da luz natural no interior dos edifícios ainda é feita através do “Fator de Luz Diurna” (*Daylight Factor*), que define um percentual mínimo de iluminação natural interior em relação ao meio exterior. Este índice já se mostrou antiquado e ineficiente, pois parte do princípio de um tipo de céu encoberto padrão, não levando em consideração variações do potencial da luz natural em diferentes contextos climáticos.

Aparentemente, o “Fator de Luz Diurna” (FLD), ou pelo menos o seu precursor, foi proposto pela primeira vez em 1895 por Alexander Pelham Trotter (1857-1947). (LOVE, J. A. 1992, apud MARDALJEVIC, 2013). O “Fator de Luz Diurna” considera a iluminação relativa sob um céu encoberto, sendo insensível ao clima prevalecente e orientação do edifício. Segundo Mardaljevic (2013), as tentativas de avanço nas normas de luz natural para além do FLD têm, até agora, apresentado sucesso limitado.

Uma das razões pelas quais esse método é limitado se dá porque o FLD não considera o sol em nenhum momento, o que faz com que todas as estratégias de projeto que dependam do ângulo solar, intensidade, ou o redirecionamento da luz solar não tenham qualquer influência sobre o valor do FLD.

Segundo Nabil e Mardaljevic (2006) os softwares que se baseiam em medidas estáticas, como o Fator de Luz do Dia (FLD), oferecem dados que são baseados em um céu encoberto, gerando resultados que não necessariamente reproduzem as condições locais de iluminação natural, pois não levam em consideração estações, horas, luz solar direta, condições variáveis do céu, orientação ou posição. Em contrapartida, aqueles que se utilizam de medidas dinâmicas (utilizadas pelos métodos baseados em CBDM) permitem capturar o comportamento do que ocorre no edifício, levando em consideração dados relacionados a seus ocupantes e ao clima local, através de uma base anual de dados, promovendo uma maior aproximação do projeto à realidade local. Esse

tipo de análise gera dados mais coerentes de iluminância real, e superam em eficiência de análise as métricas estáticas.

O termo “*Climate-Based Daylight Modelling*” pode ser entendido como qualquer avaliação da iluminação natural que leve em conta condições de sol e de céu para uma localidade específica, por um período de um ano inteiro, gerando dados quantitativos diversos (iluminância, luminância, irradiância, brilho). Em prática, isso significa considerar tais dados por meio de um arquivo climático oriundo de um padrão meteorológico anual. (Mardaljevic, 2011).

Análises desse tipo destinam-se a representar as condições prevalentes durante um período de tempo, ao invés de simplesmente retratar uma condição “instantânea” de condições específicas em um determinado instante. Normalmente a avaliação é feita levando em conta um período anual, mas, existe também a possibilidade de se levar em conta apenas determinado mês, assim como é possível avaliar somente as horas em que a edificação será ocupada.

Para esta pesquisa, o *software* utilizado para avaliações baseadas em CBDM escolhido foi o Daysim, apresentado a seguir.

1.3.1 *Software Daysim*

O software Daysim é baseado no algoritmo Radiance e vem sendo desenvolvido sob a coordenação de Christoph Reinhart desde 1998, passando pelo Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energia Solar (*Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems*), na Alemanha, pela Universidade de Harvard, pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) e pelo Conselho Nacional de Pesquisas do Canadá (*National Research Council Canada -NRCC*). Trata-se de um software de Modelagem da Iluminação Natural Baseada no Clima (CBDM), que calcula os perfis de iluminância e de luminância anual e os apresenta em forma de métricas dinâmicas do desempenho da luz natural.

Os *softwares* de simulação validados, como o Daysim, que utilizam o algoritmo do Radiance baseado no *backward raytracer* e os Modelos de céu de Perez, combinados através de um coeficiente de aproveitamento aproximado, permitem prever de maneira confiável a quantidade de luz natural em edifícios com geometria complexa (REINHART, 2010).

O Raytracer utiliza-se da técnica do raio traçado que segue o caminho de um raio entre superfícies. Inicialmente esta abordagem “foi desenvolvida no campo da computação gráfica, pois pode lidar com cenas complexas. Posteriormente ela teve seu uso expandido, sendo o cálculo de iluminação um dos campos onde ela pode ser aplicada de forma adequada” (CABÚS, apud CINTRA, 2011).

O método do raytracer pode ser classificado com relação à direção do raio traçado, se é “para frente” (*forward*) ou “para trás” (*backward*). Em outras palavras, quando os caminhos da luz são traçadas a partir do olho do espectador (ou no caso do Daysim, a partir dos sensores de luz) para as fontes de luz é “para trás” (*backward*).

A principal vantagem do raytracer consiste na possibilidade em dar soluções teóricas simples para geometrias complexas. A abordagem *backward* permite diminuir o tempo de cálculo necessário para simulação (REINHART, 2010).

O modelo de céu de Perez, desenvolvido por Richard Perez, utiliza data, hora, local e valores da radiação direta e difusa para calcular a distribuição luminosa do céu para uma dada condição. O modelo de céu de Perez é superior comparado com o modelo CIE, pois o primeiro faz distinção entre o céu nublado e nebuloso brilhante, além de fornecer alguns detalhes na distribuição luminosa do céu. Já o céu nublado do CIE é invariante (REINHART, 2010).

O conceito de coeficientes de luz natural foi originalmente proposto por Tregenza e Waters (REINHART, 2010) como um método para calcular os níveis de iluminação no interior, sob variadas condições de céu. A ideia é, teoricamente, dividir o hemisfério celeste em “partes de céu”, calculando para cada parte de céu individualmente a contribuição para a iluminação total em um ponto do edifício. A principal vantagem de utilizar esta metodologia é que quando os coeficientes de luz natural foram calculados para um ponto de referência, a iluminância ou luminância neste ponto pode ser calculada em segundos para qualquer condição de céu possível.

O *software* Radiance foi desenvolvido para simular luminâncias e iluminâncias sob determinadas condições de céu. O Daysim usa os algoritmos de simulação do Radiance para calcular a distribuição de iluminância em todas as condições de céu que ocorrem em um ano (REINHART, 2010).

Para calcular perfis anuais de iluminância, pode-se, em princípio, também usar os programas padrão Radiance. No entanto, seriam necessárias milhares de simulações individuais para todas as condições de céu do ano. Esta abordagem não é prática e seria necessário muito tempo para finalizar as simulações. Para manter os tempos de simulação curtos, o Daysim usa o algoritmo Radiance raytracer juntamente com uma abordagem de coeficiente de luz.

O Daysim permite também indicar a rotina dos usuários e a interação com os controles manuais da iluminação artificial do edifício através do algoritmo comportamental, denominado Lightswitch (REINHART, 2010). Este algoritmo combina os perfis de iluminância anual e perfis de ocupação com padrões de comportamento que são baseados em estudos de campo nos edifícios em todo o ocidente. Por exemplo, o modelo prevê que os usuários fecharão as cortinas da janela em resposta ao ofuscamento provocado por uma alta luminância, ou quando a iluminação artificial será ligada em consequência da baixa luminosidade.

Para que a simulação possa caracterizar as condições de iluminação de uma determinada localidade o *software* Daysim utiliza os arquivos climáticos do Ano Típico de Referência - TRY (*Typical Reference Year*). Estes arquivos fornecem perfis típicos do clima de dada localidade, através de dados climáticos, normalmente horários, como temperatura, direção e velocidade do vento, precipitação e radiação solar direta e difusa (REINHART, 2010).

Para simulação no Daysim é necessário um modelo que contenha as informações sobre a geometria do edifício e as propriedades ópticas dos materiais. Esse modelo pode ser gerado com uma ferramenta de CAD, pois o Daysim importa modelos 3D do Autocad, Ecotect e SketchUp.

Portanto, o Daysim é uma ferramenta que torna possível avaliar a luz natural por meio da Modelagem da Iluminação Natural Baseada no Clima (CBDM), permitindo entender o comportamento da luz no edifício, considerando seus ocupantes e o clima local, o que promove uma maior aproximação dos resultados das simulações com a realidade.

Vários resultados são gerados pela simulação no Daysim como:

Daylight Factor [Fator de Luz do Dia]: é definido pela razão da iluminância interior em um determinado ponto de um ambiente interno pela iluminância horizontal de fora do edifício. O problema desse fator de avaliação é que o modelo de céu utilizado é o modelo de céu do CIE. O local, o clima e a orientação do espaço interno e do edifício simulado não são considerados. A norma britânica do British Standards DS8206-parte 2 recomenda que o *Daylight Factor* nos pontos avaliados esteja entre 2% a 5%. O método adotado pelo *US Green Building Council's no Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)* confere um ponto de crédito se 75% dos espaços destinados para atividades visuais tiverem um *Daylight Factor* de no mínimo 2 %.

Daylight Autonomy (DA) - [Autonomia de Luz Natural]: é definido pela porcentagem de horas ocupadas por ano em que um nível mínimo de iluminância possa ser mantido apenas com luz natural em um determinado ponto. Ao contrário do *Daylight Factor*, o *Daylight Autonomy (DA)* considera todas as condições de céu durante todo ano. Esse fator considera latitude, longitude e condições climáticas locais. É recomendado que se determine o nível mínimo de iluminância que permita que o usuário consiga realizar sua tarefa sem se cansar e com o nível de luminosidade adequada. Por exemplo: um *DA* de 60% entre os horários de trabalho de 8h às 18h e um mínimo de iluminância de 500 lux significa que a pessoa possa trabalhar 60% dos dias do ano apenas com luz natural.

Continuous Daylight Autonomy (DAcon) - [Autonomia de Luz Natural Contínua]: o *DAcon* recentemente proposto por Rogers é outro parâmetro que foi considerado para avaliação. Foi proposto para contrastar com o *Daylight Autonomy*. Esse parâmetro considera que nem todos os usuários precisam da mesma iluminação para executar a mesma tarefa. Por exemplo, quando 500 lux são requisitados e 400 lux estão chegando ao ponto somente com luz natural, o *DAcon* será de 80%.

Maximum Daylight Autonomy (DAm_{ax}): parâmetro que é analisado juntamente com o *DAcon* e possui a função de informar a porcentagem de horas durante um ano quando o nível de iluminância ultrapassa 10 vezes o nível estipulado na avaliação, ou seja, quando há ofuscamento. Por exemplo, se em um laboratório de informática, o usuário precisar de 150 lux, o *DAm_{ax}* será de 1.500 lux.

Useful Daylight Autonomy [Autonomia de Luz Natural Útil]: foi proposto por Mardaljevic e Nabil em 2005. A função desse parâmetro é determinar faixas de iluminâncias que

indiquem falta de luz, níveis úteis (adequados) de iluminância, ou faixa onde há o aumento da probabilidade de ocorrência de ofuscamento. Os valores considerados são:

- . Menor que 100 lux: indica falta de luz.
- . Entre 100 e 2000 lux: indica a faixa de níveis adequados de luminosidade;
- . Maior que 2000 lux: faixa onde há o aumento da probabilidade de ocorrência de ofuscamento.

Annual Light Exposure: É um fator definido pela quantidade de iluminância acumulada em um determinado ponto durante o ano. É expresso em lux/hora por ano. Esse parâmetro é utilizado quando se quer ver se em determinado ponto, uma obra de arte, por exemplo, será muito exposta à luz do sol.

Portanto, o software Daysim é uma ferramenta que possibilita a análise da luz natural por meio de Modelagem da Iluminação Natural Baseada no Clima (CBDM), permitindo entender o comportamento da luz no edifício, considerando o clima local, e aproximando os resultados das simulações com o que ocorre de fato em situações reais.

Nesta pesquisa, o parâmetro *Daylight Autonomy (DA)*, ou Autonomia de Luz Natural, será utilizado na avaliação do desempenho da luz natural nos ambientes residenciais. Este parâmetro se apresenta como um bom indicador, pois através dele é possível quantificar em porcentagem de tempo que os níveis de iluminância requeridos podem ser mantidos apenas com luz natural, sendo possível, portanto, verificar se o ambientes que serão analisados atendem à condição de iluminância mínima estabelecida.

1.4 O Código de Obras e Edificações do Distrito Federal (COE-DF) e demais legislações urbanas

Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), o Código de Obras e Edificações é “o instrumento que permite à Administração Municipal exercer o controle e a fiscalização do espaço edificado e seu entorno, garantindo a segurança e a salubridade das edificações” (IBAM, 2011) e abrangem 57,5% dos municípios brasileiros, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009).

Segundo Cunha (2011), o controle sobre o espaço edificado é dado pela definição de parâmetros normativos, os quais, ao restringirem que a construção de edificações seja

feita segundo a maneira e conveniência de seus proprietários, tentam garantir ao cidadão o usufruto de um espaço habitável.

Com relação às determinações presentes Códigos de Obras e Edificações (COE's) brasileiros quanto ao dimensionamento das aberturas laterais, quando existentes, nota-se que os critérios descritos podem ser generalizados para quase todos os códigos de obras e edificações pesquisados. Constata-se a ocorrência das mesmas indicações mínimas para vãos de iluminação, sendo definidos como uma fração da área do compartimento (na maioria dos códigos de obra e edificações pesquisados, variando entre 1/6 para ambientes de permanência prolongada e 1/8 da área para ambientes de permanência transitória).

Buson (1998), ao se referir ao COE-DF, afirma que alguns dos valores adotados foram simplesmente copiados de índices técnicos utilizados em outras cidades brasileiras, e as revisões foram baseadas em coletâneas de legislações do país inteiro, para se determinar, por simples comparação e amostragem quais os “melhores” valores a serem adotados.

O COE-DF dispõe, em seu artigo 99, que para efeito de aeração e iluminação, todo compartimento ou ambiente deve dispor de vãos que se comuniquem diretamente com espaços exteriores ou com áreas abertas, conforme parâmetros mínimos, expressos na Tabela 2, a seguir. Na tabela não foram listados os ambientes para os quais não há exigência de iluminação natural, como banheiros, lavabos e circulação.

Tabela 2: Parâmetros mínimos de dimensionamento de ambientes e de aberturas para ambientes residenciais presentes no COE-DF.

Ambiente	Área	Dimensão mínima	Aeração/iluminação	Pé-direito
Sala	12m ²	2,85m	1/8 da área de piso	2,50m
Dormitórios	1º -10m ² 2º - 9m ² Demais – 8m ²	2,4m	1/8 da área de piso	2,50m
Cozinha	5m ²	1,8m	1/8 da área de piso	2,50m
Área de serviço	4m ²	1,5m	1/10 da área de piso	2,50m

Fernandes (2009), também se referindo ao COE-DF, afirma que o dimensionamento de aberturas não é feito em função da orientação, condição de céu e incidência da radiação solar, podendo resultar em dimensões inadequadas.

Outras variáveis arquitetônicas que influenciam o desempenho da luz natural nos edifícios são tratadas no COE-DF, como por exemplo **prismas, saliências e varandas**.

Em seu artigo 100, o COE-DF define as áreas abertas destinadas a aeração e iluminação como “prismas”. Estes são classificados como prismas abertos quando possuem pelo menos uma de suas faces não delimitadas por paredes, muros ou divisa do lote e prismas fechados quando todas as faces são delimitadas por paredes, muros ou divisa do lote. O dimensionamento desses elementos é previsto no artigo 102. Os prismas abertos, elementos avaliados neste trabalho, devem apresentar largura mínima de 1,5m e profundidade máxima equivalente ao dobro de sua largura, incluindo nesse cálculo as varandas.

As aberturas para iluminação devem manter os seguintes afastamentos mínimos dos limites do lote e de paredes confrontantes: I) de no mínimo 1,5m quando paralelas à divisa do lote; II) pode ser menor que 1,5m quando assegurada a indevassabilidade do lote vizinho quando perpendicular ou oblíquo à divisa do lote; III) de 3m, inclusive quando em prismas, independentemente do dimensionamento destes, quando frontais a paredes cegas ou a aberturas para iluminação e aeração de uma mesma unidade imobiliária.

As saliências são espaços mais estreitos nos ambientes, gerando uma espécie de “corredor”, através do qual este pode ser iluminado. Em casos como estes, o COE-DF dispõe que essas saliências deverão apresentar profundidade máxima igual ao dobro de sua largura.

O COE-DF prevê, em seu artigo 108, que qualquer ambiente pode ser iluminado por meio de varandas. Da mesma maneira, prevê que cozinhas podem ser iluminadas através da área de serviço, sendo que, neste caso, a área de abertura da área de serviço deverá corresponder ao somatório do mínimo exigido para área de serviço e para a cozinha.

Outras normas urbanísticas também regulam diversos aspectos das edificações no Distrito Federal, e por consequência, influenciam no desempenho da luz natural nos ambientes internos. São elas:

- . As plantas urbanísticas (PR's), uma das primeiras normativas do Distrito Federal, desenvolvida para definir as características dos loteamentos e desmembramentos;
- . As Normas de Gabarito (GB's), posterior às PR's, que aprimoraram as limitações relativas ao uso e ocupação do solo;
- . As Normas de Edificação, Uso e Gabarito (NGB's), posterior às GB's, e teve o intuito de aprofundar o enfoque da legislação em relação ao alcance e detalhamento.
- . Planos Diretores Locais (PDL's), conjunto de normas mais recentes, dispõe sobre o uso e ocupação do solo, estabelecendo princípios e diretrizes do ordenamento territorial das cidades onde foram aprovados – sete, no total – embora o Distrito Federal tenha 30 Regiões Administrativas. As cidades não alcançadas por PDL, da mesma forma que o Plano Piloto, permanecem regidas por NGBs.

Todas essas normas citadas interferem no desempenho da luz natural quando determinam, por exemplo, a altura e o afastamento entre edifícios.

No Distrito Federal, normalmente as alturas de edifícios são determinadas pelas NGB's e os afastamentos entre eles determinado pelos PDL's. Quando o Plano Diretor Local não especifica esse dado, então é considerado o valor adotado no COE-DF ou pela NGB do lote específico.

1.4.1 Pesquisas brasileiras que relacionaram os Códigos de Obras e Edificações e o desempenho da iluminação natural nos ambientes

No Brasil, já foram realizadas muitas pesquisas buscando avaliar as recomendações presente em Códigos de Obras e Edificações com relação ao desempenho da luz no interior dos edifícios. Naturalmente, cada pesquisa realizada adota critérios e métodos diferentes para análise destas questões. A seguir, estão compiladas algumas pesquisas nesta área com o intuito de relacionar os aspectos abordados em cada caso, para com isso estipular critérios fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

As 4 (quatro) pesquisas aqui descritas foram realizadas entre os anos de 1998 e 2012, e adotaram diferentes métodos e critérios para avaliação do desempenho da luz natural no interior de compartimentos residenciais. Em ordem cronológica são apresentados os trabalhos de Buson (1998), Amaral e Pereira (1999), Bracarense et al. (2005) e Albuquerque e Amorim (2012).

Buson (1998) estudou as condições de iluminação interna em ambientes residenciais a partir de indicações presentes no COE-DF. O autor definiu um modelo para cada cômodo (sala, quarto 1, quarto 2, quarto 3 e quarto de serviço) a partir das dimensões mínimas de piso e de abertura presentes no documento. O autor procurou incorporar as interferências das obstruções externas causadas por outros edifícios na disponibilidade de luz natural no interior dos ambientes. Foram utilizados como exemplos desse tipo de obstrução os afastamentos mínimos entre edifícios estabelecidos nos Planos Diretores das cidades de Taguatinga (AF1), Ceilândia (AF2) e Samambaia (AF3). Baseando-se nas alturas comuns dos edifícios existentes no Distrito Federal, foram adotados 4 (quatro) tipos de obstruções: edifícios com 3(três), 6 (seis), 10 (dez) e 15 (quinze) pavimentos.

Foram levadas em consideração as obstruções provocadas pelo próprio edifício (saliências e prismas abertos). O autor considerou um tamanho único de saliência (1,50m de largura por 3m de profundidade) e quatro tamanhos de prismas abertos (1,5 m x 1,5m; 1,5m x 3; 2m x 4m e 2,5m x5m).

As obstruções consideradas por Buson foram estudadas em diversas situações, combinando-se as obstruções causadas pelo próprio edifício com aquelas causadas pelos edifícios do entorno.

Os cálculos foram feitos utilizando os Diagramas de Pontos Equiluminosos, o Gráfico de Dresler e as Fórmulas da BRS, definindo-se 3 pontos no ambiente no qual se se estimou a disponibilidade de luz natural. Buson admitiu, com base na NBR 5413, o valor mínimo de 100 lux para a iluminância a ser garantida.

Buson concluiu que a proporção indicada para aberturas dos compartimentos no COE-DF é mais que suficiente para iluminação mínima dos ambientes (100 lux) quando não existem obstruções externas de nenhuma espécie, porém, quando estas existem, alguns cômodos passam a não apresentar índices de iluminação natural satisfatórios, concluindo que todas as condições de afastamento presentes no Código de Obra do Distrito Federal não garantiam uma iluminância geral de acordo com as recomendações da ABNT na maioria dos casos.

O autor, baseado nos resultados, recomendou a utilização de um índice único de 1/6 para dimensionamento das aberturas para iluminação em função da área de piso para todos os compartimentos.

Amaral e Pereira (1999), em estudo sobre os níveis de iluminação natural em ambientes na cidade de Florianópolis, compararam as dimensões mínimas presentes no Código de Obra e Edificações da cidade e, através de simulação computacional estática, propuseram parâmetros para o dimensionamento de janelas levando em consideração o aproveitamento da luz natural. Foram simulados 4 (quatro) modelos (sala comercial, sala residencial, dormitório e cozinha/copa) em duas situações diferentes: sem obstrução e com obstrução provocada por um beiral de 2 metros de comprimento. O dimensionamento dos ambientes e das aberturas laterais foram feitos com base nas dimensões mínimas previstos no Código de Obra e Edificações da cidade.

Os autores utilizaram o software Lumen Micro 7. Foram estabelecidos intervalos de iluminância média aceitáveis, baseados na Norma NBR 5413 (ABNT, 1992) de 525 a 975 lux para o ambiente comercial e de 105 a 195 lux para os ambientes residenciais.

Nos ambientes residenciais, verificou-se que nas situações sem obstrução foram encontrados níveis de iluminância excessiva em todos os casos. Nas situações com obstrução, a maior parte de suas áreas apresentaram os níveis de iluminância insuficiente, durante todo o período analisado.

Bracarense et al (2005) analisaram o desempenho da luz natural em ambientes, no contexto de Belo Horizonte, variando as refletâncias das superfícies internas e em condições de entorno construído, por meio de análise de modelo físico em escala reduzida, visando a contribuição para o aperfeiçoamento das normas técnicas.

Foram fixados dois fatores para análise, o comprimento do beiral (sem beiral, com beiral de 1 metro e com beiral de 2 metros) e a área da janela (1/8, 1/6 e 1/5 da área de piso).

O modelo físico utilizado na avaliação estava na escala 1:20, reproduzindo um ambiente com as dimensões reais de 700cmx 700cm x 280cm. O modelo possuía uma abertura unilateral, voltada para Sul, localizada no centro de uma única parede. O estudo utilizou um modelo pintado internamente com tinta látex fosca branca (Componente de Reflexão Interna - CRI máxima) e o outro modelo recoberto internamente com camurça

fosca preta (CRI mínima), permitindo que fosse feita a avaliação do efeito da reflexão interna das superfícies nos níveis de iluminação sobre o plano horizontal de tarefa visual do ambiente.

Dentro do modelo, foram colocadas quatro fotocélulas para as medições dos níveis de iluminação natural no plano de trabalho à medida que se afasta da janela. As medidas foram feitas simultaneamente no interior e no exterior do modelo para se obter a contribuição de iluminação natural (CIN) no ambiente.

Para a avaliação, foi definido que a iluminância interna no ambiente deveria estar acima de 300 lux e o CIN não deveria estar abaixo de 2%.

Os dados colhidos revelaram que todos os modelos com interior branco atingiram o mínimo de desempenho da luz natural, enquanto que alguns testes com o modelo preto não atingiram, o que comprovou que a distribuição de luz natural nos ambientes é afetada pelas condições de refletância interior. O aumento do beiral no modelo branco contribuiu para o aumento dos valores da CIN, enquanto que no modelo preto o resultado foi o oposto, pois, havendo pouca reflexão interna da luz, a iluminância sobre o plano de trabalho torna-se muito dependente da Componente de Céu (CC), cuja contribuição é barrada com o aumento do beiral. Constatou-se que a relação proporcional da janela e do beiral afeta a condição interna de distribuição de luz. O comportamento observado do aumento da janela no modelo branco e no preto contribuiu para o aumento dos valores da CIN, porém não apresentou o efeito de saturação esperado como pode acontecer em condições de entorno desobstruído. Isto, segundo os autores, demonstra a contribuição que o entorno construído pode oferecer nos iluminamentos no interior do ambiente, devendo ser, segundo eles, objeto de análise mais aprofundada.

Albuquerque e Amorim (2012) avaliaram a influência da profundidade dos ambientes residenciais e de outras variáveis arquitetônicas com relação ao aproveitamento de luz natural por meio de simulação de métricas dinâmicas, utilizando o *software Daysim*. Ao todo, foram realizadas 336 simulações, para 11 cidades brasileiras.

As autoras definiram um modelo-base de ambiente residencial hipotético de 23m², com abertura de 3,81 m², equivalente a 1/6 da área de piso, acompanhando assim a

indicação presente na maioria dos Códigos de Obra e Edificações brasileiros. Foram determinadas refletâncias de 30% para pisos, 84% para tetos e 58% para paredes, e vidros com transmissão luminosa de 89%.

Foram utilizados dois valores para exigência mínima para iluminância, primeiramente 100 lux (REINHART, 2010) e posteriormente 60 lux, em função da recomendação da norma NBR 15575 para ambientes de permanência prolongada, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de edificações residenciais de até 5 pavimentos. Buscou-se uma autonomia de luz natural (porcentagem de horas do ano em que a iluminância de mínima é alcançada) de 80% e 70%, combinados com ocorrência dos níveis de iluminância de projeto de 100 lux e 60 lux. Foi também considerada a autonomia espacial da luz natural no ambiente. Primeiramente considerou-se uma autonomia espacial de 100%, posteriormente, em verificação de casos reais, considerou-se 70% e 50%.

Foram determinados 3 modelos com proteções solares distintas: a) beirais (com 3 variações: 70cm, 100cm e 120cm); b) proteções verticais de ambos os lados da abertura, similares ao autossombreamento de fachadas (com 3 variações: 50cm, 80cm e 120cm); c) proteções horizontais geradas por varandas (beiral com 150cm e peitoril a 150cm da abertura com 100cm de altura). Além desses, também foi avaliado um ambiente sem nenhuma proteção solar.

Albuquerque e Amorim verificaram que a situação recomendada pela NBR 15575, de 60 lux para iluminância de projeto, com uma autonomia de 70% das horas e horário de ocupação de acordo com o horário de sol em cada cidade, resultou uma relação entre a profundidade-limite e a altura da verga da janela de 1,8 vezes, resultado próximo àqueles encontrados nas recomendações da literatura (REINHART, 2005; GONÇALVES, 2007).

Quando os valores encontrados foram submetidos à verificação de aplicabilidade em casos reais, houve um reajuste do valor adotado para a relação profundidade-limite e altura da verga da janela, de 1,8 para 2,57, e assim, os ambientes sem proteção solar alcançavam 60 lux em 70% as horas diurnas e em 70% de suas áreas.

Para ambientes com proteções solares (beirais, proteções verticais e varandas), o valor da profundidade limite encontrado foi de 2,11 vezes a altura da janela, para que o ambiente atendesse aos 60 lux em 70% das horas diurnas e em 70% de sua área. No entanto, quando esse valor de profundidade foi submetido à aplicação em casos reais, foi reajustado para 2,95 vezes a altura da janela para que o ambiente atendesse a 60 lux em 70% das horas diurnas e em 50% de sua área.

As autoras também verificaram que as proteções solares tiveram mais influência nos resultados de cidades de maiores latitudes.

A seguir, a Tabela 3 resume os principais aspectos abordados em cada uma das pesquisas acima descritas. Buscou-se selecionar os critérios que mais influenciaram os resultados de desempenho da luz natural e que, ao mesmo tempo, pudessem ser comparados em cada um dos casos.

Tabela 3: Principais critérios avaliados nas pesquisas

Pesquisa	CRITÉRIOS AVALIADOS						
	Cômodos de acordo com o COE	Iluminância mínima (lux)	Método de cálculo da iluminância	Obstruções na abertura	Obstruções a nível urbano	Refletância interna	Reflet. externa
Buson (1998)	Sala e quartos	$E > 100$	Cálculo manual	Autossombreamento do próprio edifício (variados)	Afastamento entre edifícios (com alturas diferentes)	70%	50% (edifícios do entorno)
Amaral e Pereira (1999)	Sala, quartos e cozinha/copa	$105 < E < 195$	Simulação estática	Com e sem Beiral (2m)	Não considera	70%-teto, 50%-paredes 20%-piso	Não considera
Bracarens e et al (2005)	Sem definição, com área de janela variável (1/8, 1/6 e 1/5)	$E > 300 + CIN > 2\%$	Análise de modelo físico em escala reduzida	Com e sem beiral (1 e 2m)	Não considera	Variável (Reflexão máxima com branco e reflexão mínima com preto)	piso cerâmico cinza claro e paredes de cor clara
Cintra e Amorim (2011)	Sem definição com área de janela de 1/6	$E > 100$ $E > 60$ em 70% do tempo e 70% do espaço	Simulação dinâmica	Com e sem beiral (3 variações), autossombreamento (3 variações) e varanda (2 variações)	Não considera	84%-teto, 58%-paredes 30%-piso	30% (beirais)

Nota-se que na maior parte dos casos as avaliações se fixaram em cômodos de permanência prolongada (salas, quartos e cozinhas). Houve variação na escolha do critério de iluminação mínima necessária em cada caso, de 60 lux no caso do critério menos rigoroso, para 300 lux no caso do critério mais rigoroso. Além disto, é importante notar que nos casos de pesquisas realizadas com simulação dinâmica é importante que

se especifique o critério espacial e temporal desta iluminância mínima. Neste caso, a pesquisa selecionada adotou o critério de 70% do tempo em 70% do espaço.

É possível ainda perceber que todas abordaram, de certa forma, a influência das obstruções externas em suas avaliações, porém, apenas uma o fez em nível urbano, considerando o afastamento de outros edifícios. Por último, é possível observar que houve uma diferença significativa em relação aos valores das refletâncias internas adotadas e que duas pesquisas não consideram aspectos de refletância das superfícies externas aos ambientes avaliados.

Nota-se que na maioria dos casos, independente do critério escolhido ou do método adotado, as situações avaliadas sem qualquer tipo de obstrução alcançam os níveis mínimos de iluminância predeterminados. Isto indica que as recomendações presentes nos Códigos de Obras e Edificações para o dimensionamento das aberturas laterais (principalmente de ambientes de permanência prolongada) tendem a propiciar condições de iluminação natural minimamente adequadas a estes ambientes. Também é possível notar que quando a avaliação é feita considerando obstruções, o que é a realidade urbana, na maioria dos casos não ocorre o atendimento aos níveis mínimos de iluminância, ao menos segundo essas pesquisas.

1.5 Distrito Federal: contextualização

O clima do Distrito Federal pode ser classificado como Tropical de Altitude, marcado por duas estações do ano bem definidas: um período quente-úmido com verão chuvoso, que vai de outubro a abril, com uma temperatura média de 22°C, cobrindo a cidade de nuvens e gerando fortes pancadas de chuva; e outro período quente-seco com inverno seco que acontece de maio a setembro. Neste período, devido ao insuficiente vapor de água presente na atmosfera, é um período de baixa nebulosidade. (FERREIRA, 1985).

A norma ABNT 15215-1 –Iluminação Natural: Parte 1: Conceitos básicos e definições (ABNT, 2005) apresenta os seguintes tipos de céu: céu encoberto, céu claro e céu parcialmente encoberto. Essas três condições são assim classificadas com base na razão de cobertura do céu por nuvens, expressa em décimos, numa escala de 0,0 para céu sem nuvens a 1,0 para céu completamente encoberto.

Tabela 4: Condição de céu relacionado ao percentual de cobertura por nuvens. Fonte: ABNT, 2005.

CONDIÇÃO DE CÉU	COBERTURA POR NUVENS
CLARO	0% a 35%
PARCIALMENTE ENCOBERTO	35% a 75%
ENCOBERTO	75% a 100%

Com base nos dados das normais climatológicas do período de 1961 a 1990 (INMET, 1992), no Distrito Federal há predominância de céu parcialmente encoberto, com índices de nebulosidade acima de 0,4 entre os meses de setembro a maio. Porém, constata-se um período de céu predominantemente claro coincidente com o período seco, cujos menores índices se encontram entre os meses de junho e agosto, conforme demonstra o gráfico abaixo (Figura 1).



Figura 1: Gráfico de nebulosidade média anual para o Distrito Federal. INMET (1961-1990)

Localizado na região Centro-Oeste do Brasil, ocupando o centro-Leste de Goiás, o Distrito Federal consiste em um território autônomo, dividido em regiões administrativas. Exceto Brasília, a capital federal e sede do governo do Distrito Federal, as demais regiões administrativas são conhecidas como cidades-satélites, que mantêm certa autonomia administrativa, mas suas atividades econômicas e sociais dependem de Brasília.

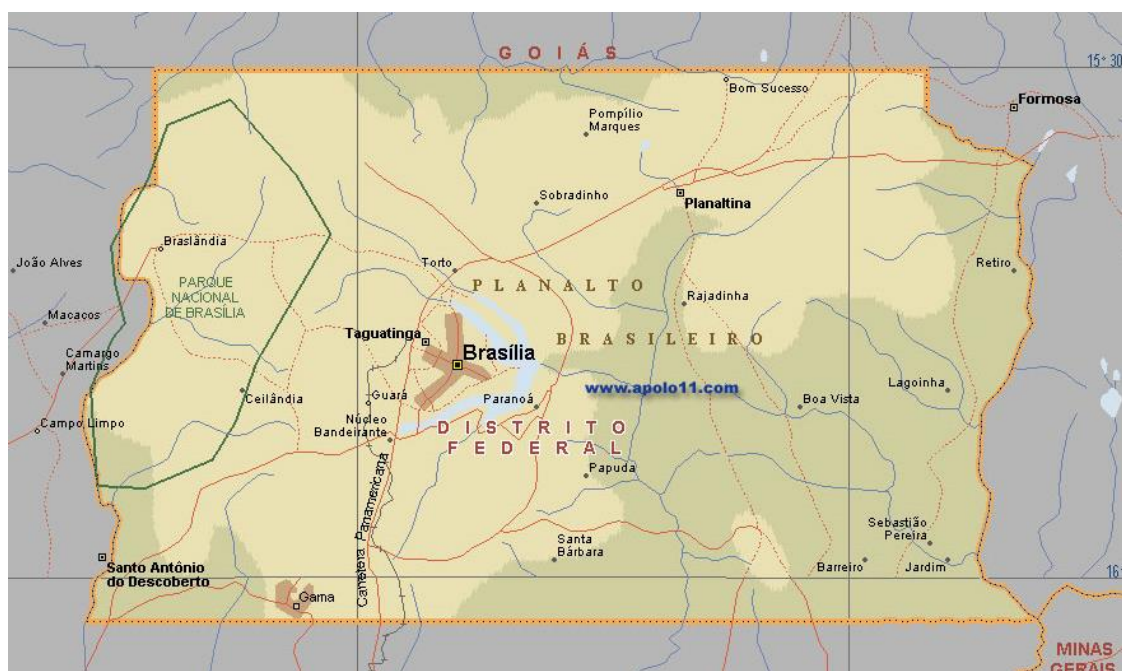


Figura 2: Mapa do Distrito Federal.
Fonte: www.apolo11.com/mapas

Brasília foi idealizada para ser composta pelo Plano-Piloto da cidade e, ao atingir o total da população prevista (500 mil habitantes), se iniciaria a construção de cidades-satélites, abrigando a população excedente (PAVIANI, 2001). No entanto, verificou-se o surgimento desses núcleos urbanos desde 1956, com o surgimento do Núcleo Bandeirante. Ou seja, mesmo antes da inauguração da nova capital, em 1960, já se verificava a formação de novas cidades ao redor de Brasília. (DISTRITO FEDERAL, 2014-1).

Ao todo, o Distrito Federal conta com 30 regiões administrativas (DISTRITO FEDERAL, 2014-2), algumas iniciadas de forma irregular e posteriormente oficializadas, e outras já previstas pelo governo como áreas de expansão urbana. Todas elas tiveram importante evolução socioeconômica, mas grande parte das suas populações continua a retornar a elas somente à noite, após o dia de trabalho ou de estudos no Plano Piloto. (FREITAS, 2013)

Segundo Ferreira (2006), o Distrito Federal ainda pode ser caracterizado por suas elevadas taxas de crescimento populacional. Como consequência deste processo, observa-se uma rápida ocupação de seu território e a necessidade do constante monitoramento e redefinição dos limites de suas Regiões Administrativas.

Além disso, os altos valores dos imóveis em Brasília inviabilizam a aquisição dos mesmos por grande parte da população, aumentando a demanda por moradia fora dos limites do Plano-Piloto. Observa-se, portanto, o aumento da oferta de habitações em edifícios multifamiliares nas cidades-satélites, até mesmo onde até pouco tempo atrás não existiam edifícios residenciais em altura.

1.5.1 O processo de verticalização nas Regiões Administrativas e os novos edifícios residenciais

Em muitas Regiões Administrativas, por força de interesses do mercado imobiliário, alturas de gabarito e potencial construtivo foram modificados, levando à verticalização das construções. Destaca-se os casos de Águas Claras e do Gama.

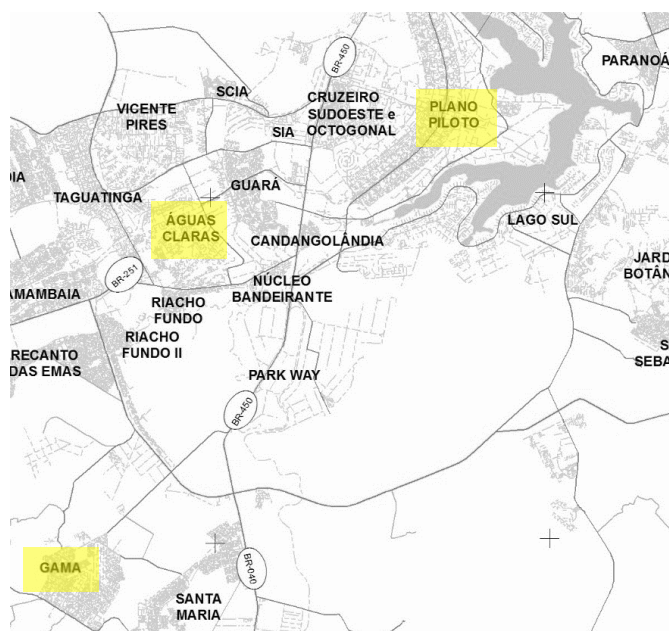


Figura 3: Localização de Águas Claras e do Gama em relação ao Plano Piloto. Fonte: DISTRITO FEDERAL, 2014.

Águas Claras foi planejada na tentativa de desenvolver um crescimento ordenado, lançada como uma solução urbanística modelo, composta por edifícios em altura. Porém, o plano inicial não se concretizou como o previsto, uma vez que alterações nos gabaritos de altura das edificações e coeficientes de aproveitamento acabaram por descaracterizar seu projeto original. Hoje, Águas Claras conta com edifícios de até 35 pavimentos, contrariando os 12 pavimentos máximo previstos inicialmente para a área residencial (CAMPANHONI, 2011).

Da mesma forma, o Gama, uma das Regiões administrativas mais antigas do Distrito Federal, inaugurada ainda em 1960, também foi uma cidade planejada, porém, com o intuito de abrigar trabalhadores instalados em vilas irregulares. Nos primeiros anos de existência da cidade foram construídas residências de interesse social por parte do governo, além de um grande número de autoconstruções, devido à grande demanda por moradia no local (FREITAS, 2013). Atualmente, devido a mudanças no Plano Diretor Local (PDL – 2006) setores da cidade como o antigo Setor de Indústrias apresentam edifícios residenciais com até 22 pavimentos.

Algo comum entre a verticalização que ocorre em Águas Claras e no Gama se refere às características morfológicas dos edifícios residenciais. Estes, muitas vezes apresentam características que geram dúvidas quanto ao aproveitamento mínimo da luz natural no interior de seus ambientes devido sua configuração espacial, à dimensão das aberturas, ao excesso de obstruções geradas pelo próprio edifício ou às obstruções causadas por edifícios vizinhos. Em muitos casos, existem mais de um bloco de edifício no mesmo lote, com afastamentos mínimos entre si.

As figuras 4, 5 e 6 referem-se a um complexo de edifícios situado em Águas Claras e exemplificam características de fachada e afastamentos entre blocos de edifícios vizinhos que potencialmente podem prejudicar o desempenho da luz natural no interior dos apartamentos. Nas duas primeiras imagens nota-se a presença de reentrâncias profundas nas fachadas, neste caso, chamados **prismas** pelo COE-DF. Na terceira figura a distância entre os blocos, de acordo com medição feita por imagem de satélite, fica e torno de 15 metros.

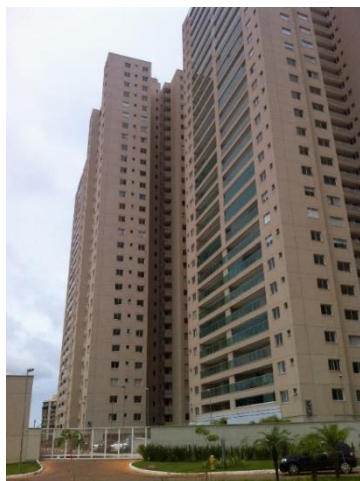


Figura 4: Complexo residencial em Águas Claras

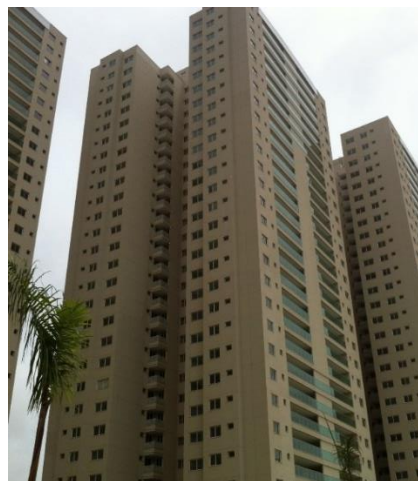


Figura 5: Complexo residencial em Águas Claras.

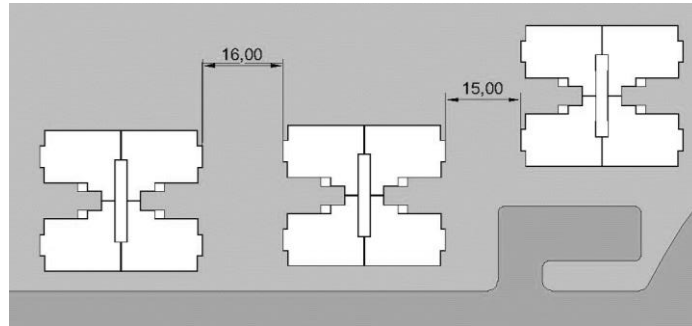


Figura 6: Implantação dos blocos de edifícios no complexo residencial em Águas Claras ilustrados nas figuras 4 e 5.

As figuras 7 e 8 ilustram situações em empreendimentos residenciais no Gama onde, da mesma forma, o afastamento entre os blocos (com cerca de 10 metros) e as reentrâncias nas fachadas podem prejudicar o desempenho mínimo da luz natural nos apartamentos.



Figura 7: Complexo residencial na Quadra 1 do Setor de Indústrias do Gama



Figura 8: Complexo residencial na Quadra 3 do Setor de Indústrias do Gama

Embora os tipos de projetos arquitetônicos acima ilustrados despertem dúvida quanto ao desempenho luminoso no interior dos ambientes dos apartamentos, as características desses edifícios obedecem às legislações locais (COE-DF e demais instrumentos urbanísticos).

No entanto, como afirma Buson (1998), os índices técnicos presente no COE-DF que interferem na iluminação natural dos ambientes infelizmente passaram por pouco ou nenhum estudo aprofundado. Da mesma forma, os índices que determinam as distâncias entre blocos de edifícios, estejam estes presentes nos Planos Diretores Locais ou nas NGB's, também não levam em conta estudos dessa natureza.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, foi realizado o levantamento do referencial teórico específico sobre iluminação natural; sobre a influência do Código de Obra e Edificações e demais legislações urbanas no desempenho luminosos em ambientes, contemplando trabalhos já realizados nesse sentido; para o Distrito Federal, incluindo aspectos sobre seu clima e sobre o seu processo de urbanização; e por fim, sobre o método de Modelagem de Luz Natural Baseada no Clima (*Climate-Based Daylight Analysis*).

Para que fosse possível investigar o impacto de variáveis arquitetônicas no desempenho da luz natural em ambientes residenciais, o procedimento metodológico incluiu a realização de uma série de simulações computacionais, por meio de *software* específico (Daysim) de Modelagem de Luz Natural Baseada no Clima (CBDM).

Para tanto, foi necessário, em primeiro lugar, o levantamento das variáveis arquitetônicas que determinaram os modelos-base para análise. Estes modelos-base buscaram representar ambientes típicos contidos nos COE-DF, abrangendo área de piso, dimensões mínimas e pé-direito. Além disso, os modelos-base contemplaram obstruções à luz natural (saliência nos cômodos, varandas, prismas e edifícios vizinhos). Para a determinação dessas obstruções foram levadas em consideração as pesquisas citadas no referencial teórico e a observação da ocorrência de obstruções em edifícios residenciais nas regiões administrativas do Gama e de Águas Claras.

Simultaneamente, foram estabelecidos os critérios de análise das simulações segundo indicações presentes no RTQ-R. São estes: intervalo de iluminância desejado no ambiente ou, segundo os termos do CBDM, a autonomia de luz natural (*Daylight Autonomy*); e autonomia espacial, que informa a parcela mínima da área do ambiente que se deseja iluminar naturalmente com o intervalo de iluminâncias já determinado.

A partir disso, foi realizada uma primeira etapa de simulações computacionais, na qual verificou-se o desempenho da iluminação natural segundo os critérios presentes no RTQ-R para as dimensões mínimas das aberturas laterais presentes no COE-DF. Cada modelo-base de ambiente foi simulado combinando-se as possibilidades de obstruções à luz natural.

A partir da análise dos resultados desta primeira etapa de simulações foi possível identificar os casos onde as indicações do COE-DF não permitem aos ambientes o alcance do nível mínimo de iluminância predeterminado.

A segunda etapa de simulações foi feita para subsidiar novas indicações de proporções de aberturas laterais, para os casos de ambientes que não obtiveram o desempenho mínimo da iluminação natural (desempenho 1) na primeira etapa de análise.

O diagrama abaixo resume os procedimentos metodológicos, etapa à etapa, que serão descritos detalhadamente a seguir.



Figura 9: Diagrama esquemático dos procedimentos metodológicos

2.1 Determinação dos modelos-base – variáveis arquitetônicas

Após a análise dos trabalhos de Buson (1998), Amaral e Pereira (1999), Bracarense et al. (2005) e Albuquerque e Amorim (2012), optou-se por basear os parâmetros da determinação dos modelos-base na pesquisa de Buson (1998). Tal escolha se deu pelo fato do autor ter investigado as proporções dos ambientes de permanência prolongada

do COE-DF levando em consideração as obstruções ao ingresso da luz natural causadas pelo próprio edifício e por edifícios do entorno. O autor determinou parâmetros bastante relevantes para a análise do desempenho da iluminação natural, e o presente trabalho poderá trazer maiores contribuições, uma vez que pretende parâmetros semelhantes através da ferramenta de Modelagem de Luz Natural Baseada no Clima (*Climate-Based Daylight Analysis*).

2.1.1 Caracterização dos ambientes

Para a determinação dos modelos-base foram utilizados os valores mínimos exigidos para áreas de piso dos ambientes, dimensões mínimas dos mesmos e áreas de aberturas equivalente a 1/8 da área de piso, conforme exigência do COE-DF. Esta proporção para dimensionamento das aberturas coincide com a exigência presente no RTQ-R para ambientes nível “A” e “B” de eficiência energética.

Como a intenção desta avaliação é buscar identificar sob quais situações o COE-DF não permite o alcance do nível mínimo de iluminância nos ambientes internos das residências multifamiliares, foi necessário determinar geometrias de ambientes que caracterizem uma situação desfavorecida do ponto de vista do desempenho da luz natural, para que assim fosse possível avaliar as “piores” situações que podem ocorrer em conformidade com o permitido pelo COE-DF .

Dessa maneira, assim como Buson (1998), escolheu-se trabalhar com ambientes retangulares, respeitando as áreas mínimas exigidas, sendo que a dimensão mínima está na parede voltada para o exterior, onde se localiza a abertura lateral. Dessa forma, tem-se um ambiente mais profundo, o que poderia sugerir um desempenho da luz natural desfavorável.

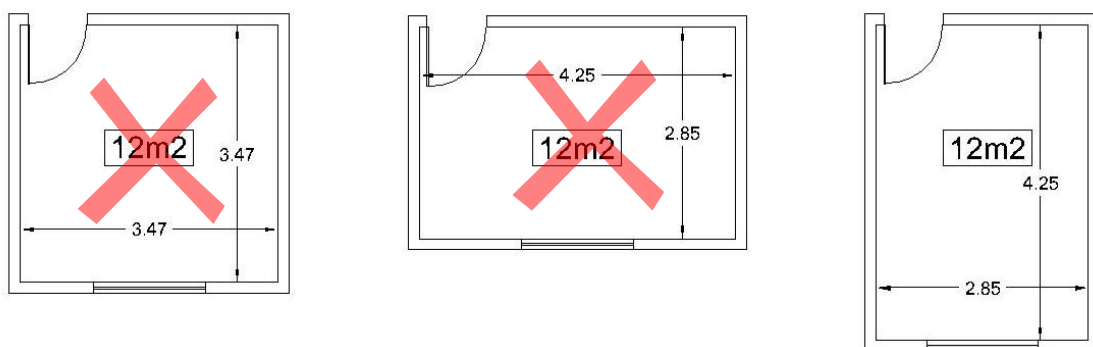


Figura 10: Esquema dos ambientes com mesma área e definição do pior caso quanto a iluminação natural resultante. Exemplo para sala. Fonte: baseado em Buson (1998).

O RTQ-R, na parte relativa às bonificações, estipula uma pontuação extra para ambientes que apresentem profundidade máxima igual ou menor a 2,4 vezes a medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação, visando um aproveitamento maximizado na luz natural no ambiente.

No caso dos ambientes considerados nesta pesquisa, as aberturas estarão localizadas a uma altura de 1,1m do piso, com altura máxima de 2,1m. Assim, para que os ambientes avaliados cumpram a indicação do RTQ-R, devem apresentar no máximo 5,04m de profundidade.

Adotou-se, assim como Buson (1998), pé-direito de 2,85m. Porém, as áreas mínimas para as aberturas laterais que serão adotadas, corresponderão a 1/8 da área de piso de cada ambiente avaliado, conforme exigido no COE-DF atualizado³.

A seguir, a tabela 5 caracteriza a geometria e as respectivas aberturas dos ambientes que serão avaliados:

³ Buson (1998) realizou sua avaliação levando em consideração a proposta do Código de Obras e Edificações do Distrito Federal que estava em fase de votação na Câmara Legislativa no ano de 1997. Nesta versão, que acabou por gerar o Código de Obras e Edificações do Distrito Federal válido atualmente, era previsto que a área de abertura se dividiria em vão para iluminação e vão para ventilação, cada qual com exigência mínima de 1/16 da área de piso do ambiente. Na versão atual, esses valores não se separam.

Tabela 5: Dimensões dos ambientes e das aberturas que serão analisadas.

Ambiente	Área	Dimensões (largura mínima x profundidade)	Área da abertura lateral (1/8 da área de piso do ambiente)	Dimensões da abertura lateral (largura x altura)
Sala	12m ²	2,85m x 4,25m	1,5m ²	1,5m x 1m
Quarto	10m ²	2,4m x 4,2m	1,25m ²	1,25m x 1m
Cozinha	5m ²	1,8m x 2,8m	0,625m ²	0,625m x 1m
Área de serviço	4m ²	1,5m x 2,67m	0,4m ²	0,5m x 0,8m
Cozinha + área	9m ²	1,8m x 5m	1,125 m ²	1,125m x 1m
Cozinha + área (com divisória)	9m ²	1,8m x 5m	1,125 m ²	1,125m x 1m

No ambiente cozinha conjugada com área de serviço e divisória entre eles, a divisória se encontra a 2,2 metros da parede externa onde se localiza a abertura lateral e tem 1m de comprimento, indo até o teto e deixando uma passagem de 80 centímetros entre a cozinha e a área de serviço.



Figura 11: modelo da cozinha com área de serviço e divisória.

Quando o ambiente apresentar alguma variável arquitetônica (como prismas, saliência e varanda, que serão descritos a seguir), a dimensão dessas variáveis não estarão inclusas nas dimensões da tabela 5.

Além da caracterização geométrica, é necessário especificar as refletâncias das superfícies dos ambientes, incluindo piso, paredes e teto. Foi considerado que todos os ambientes apresentarão as mesmas cores de superfícies, com suas respectivas refletâncias (CASTRO et al, 2003), conforme descrito na Tabela 6, a seguir:

Tabela 6: Cores e respectivas refletâncias das superfícies dos ambientes.

Superfície	Cor	Refletância
Teto	Tinta cor branco neve	84%
Paredes	Tinta cor branco gelo	60%
Piso	Cerâmica bege ou madeira	20%

2.1.2 Definição dos tipos de obstruções à luz natural

Para a definição dos tipos de obstruções à luz natural, foram consideradas duas situações: as obstruções causada pelo próprio edifício (prismas⁶, varandas e saliências⁷) e a obstrução causada por edifícios vizinhos.

Para a determinação das obstruções causadas pelo próprio edifício em seus ambientes internos, optou-se por seguir parcialmente a metodologia de Buson (1998), relativa a prismas abertos e saliências.

O COE-DF estipula que as saliências de compartimentos que possuam vãos de aeração e iluminação terão profundidade máxima igual ao dobro de sua largura.

É importante salientar que o foco para o desenvolvimento dos modelos-base não foi o de examinar as condições exatas de obstruções já existentes nos edifícios do Distrito Federal, e sim contemplar situações possíveis de ocorrência para as mesmas sob à luz das indicações do COE-DF. Para isso, casos reais foram observados no intuito de orientar as escolhas das características das obstruções, mas não no intuito de servirem como modelos literais, como pode-se ver a seguir, quando todas as obstruções consideradas, incluindo as combinações entre elas, serão caracterizadas.

- Prismas 1, 2 e 3

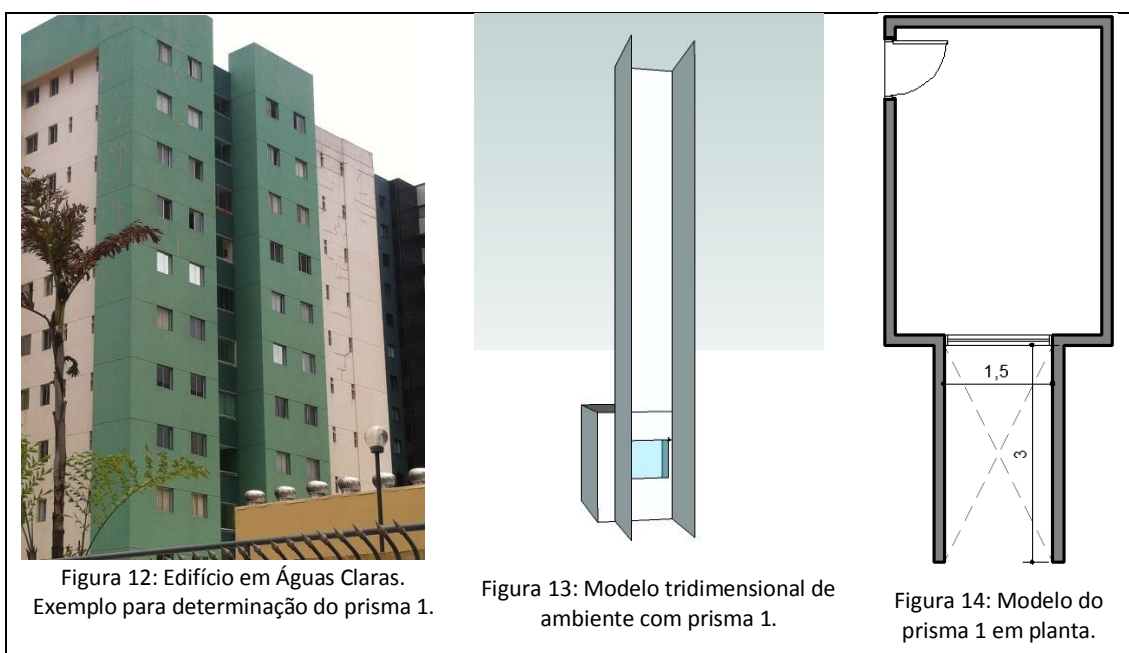
Em seu estudo, Buson (1998) definiu 4 tipos de prismas abertos (1,5m X 1,5m; 1,5m X 3m; 2m X 4m e 2,5m X 5m). Porém, para este trabalho optou-se por simular um prisma de 1,5m X 3m (Prisma 1); um segundo prisma de 5m X 10m (Prisma 2) e um terceiro de

6 - Prismas: Espaço vertical livre situado no interior ou no perímetro de uma edificação, utilizado para aerar e iluminar os compartimentos ou ambientes para ele voltados

7 - Saliências são partes mais estreitas em um ambiente onde podem estar localizadas aberturas para aeração e iluminação.

dimensões intermediárias, de 2,5m X 5m (Prisma 3). A escolha dessas dimensões de prismas se deu em razão da necessidade de se avaliar situações críticas observadas em casos reais nas Cidades Satélites do Distrito Federal.

A Figura 12, a seguir, demonstra uma condição real de prisma, observado em Águas Claras. Exemplos como este foram utilizados para determinar o modelo de obstrução “Prisma 1”, que é ilustrado nas figuras 13 e 14. Todos os ambientes (sala, quarto, cozinha, área de serviço e cozinha conjugada com área de serviço) foram simulados com esta obstrução.



A Figura 15 demonstra uma outra condição real de prisma, igualmente observado em Águas Claras. Este foi um dos exemplos utilizados para determinar o modelo de obstrução “Prisma 2”, ilustrado nas figuras 16 e 17. Da mesma maneira, todos os ambientes foram simulados com esta obstrução.



A Figura 18 demonstra uma terceira condição real de prisma, observado em Águas Claras. Este foi um dos exemplos utilizados para determinar o modelo de obstrução “Prisma 3”, que é ilustrado nas figuras 19 e 20.



No caso dos prismas, observa-se que nos modelos eles aparecem alongados verticalmente, isto para simular o efeito real de ambiente localizado no 1º pavimento em um edifício com prisma.

- Varanda

Foi considerada a ocorrência de varandas nas fachadas. Foi estipulado apenas um tipo desse elemento, com 2m de profundidade e guarda-corpo com 1m de altura. A largura da varanda será determinada pela largura do ambiente a ser analisado com esta obstrução. Os ambientes simulados com essa obstrução foram SALA e QUARTO, por se tratarem dos ambientes nos quais normalmente se verifica a ocorrência de varandas. A dimensão de varanda adotada ilustra a “pior situação” do ponto de vista do desempenho da luz natural no interior do ambiente iluminado através de varanda, pois trata-se do avanço máximo em espaço aéreo público permitido no Distrito Federal, em conformidade com a Lei Complementar 755 de 2008. As figuras 21, 22 e 23 ilustram modelos com a obstrução varanda.

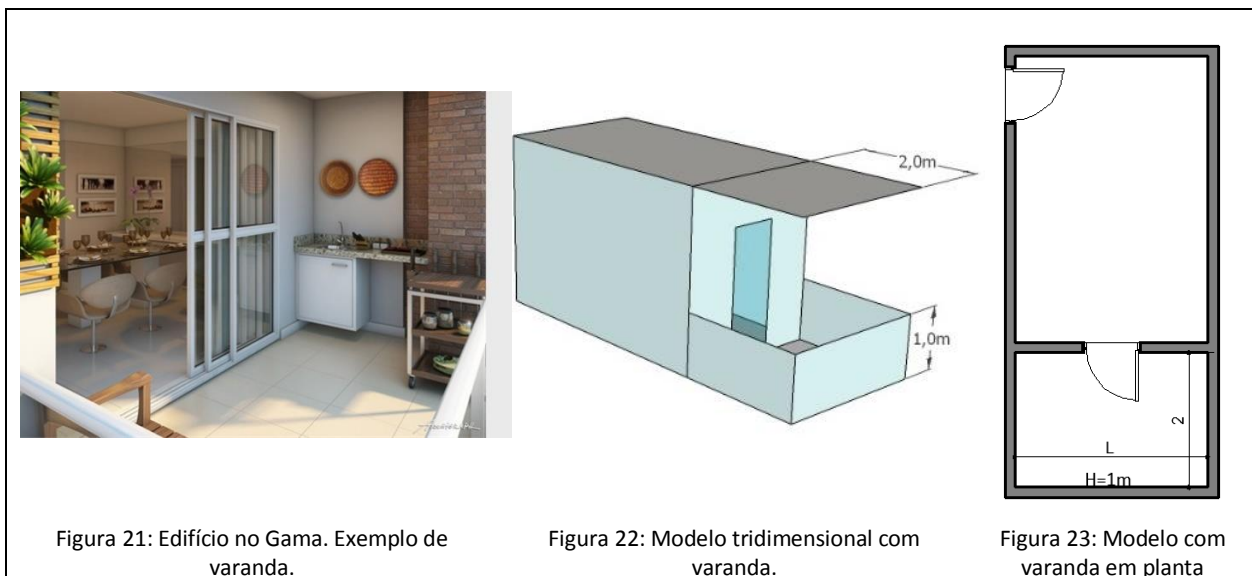


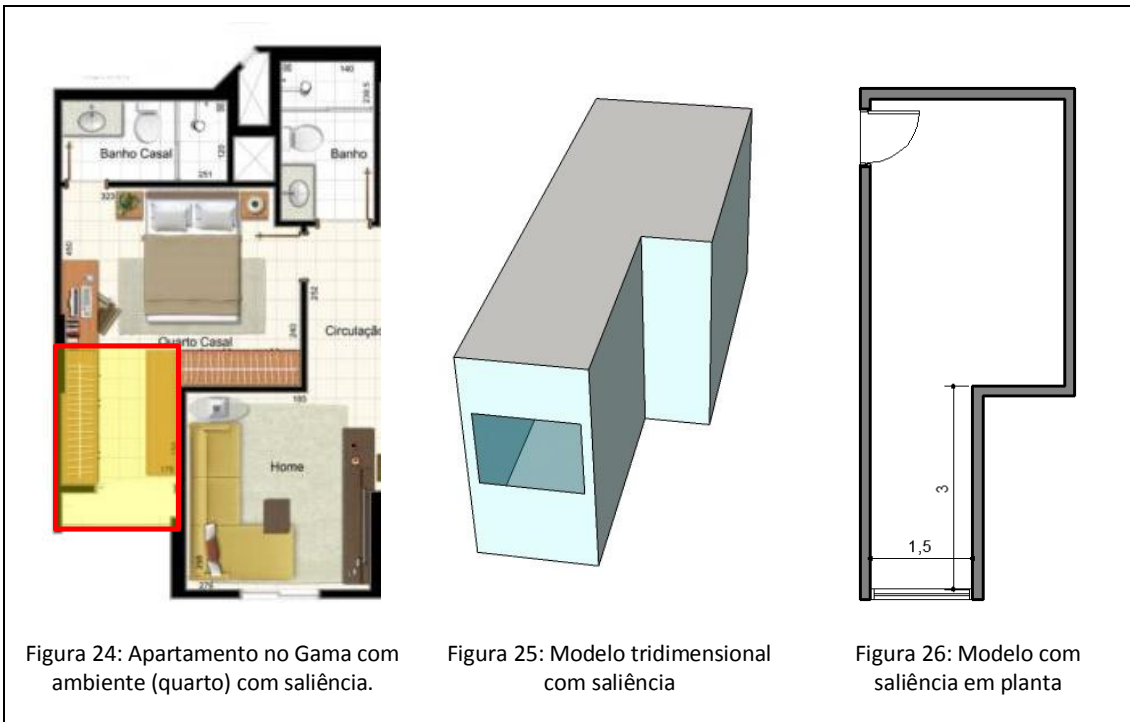
Figura 21: Edifício no Gama. Exemplo de varanda.

Figura 22: Modelo tridimensional com varanda.

Figura 23: Modelo com varanda em planta

- Saliência

Foi considerado apenas um tipo de saliência (1,5m de largura por 3m de comprimento), em função da extensão do trabalho e do número de simulações. A dimensão adotada foi a mesma utilizada por Buson (1998). Assim como no caso da varanda, somente os ambientes SALA e QUARTO foram simulados contemplando essa obstrução, por se tratarem dos ambientes nos quais normalmente se verifica a ocorrência de saliência. As figuras 23, 24 e 25 ilustram esta variável arquitetônica.



- Edifícios Vizinhos

Para a determinação das características das obstruções causadas por edifícios vizinhos, estipulou-se 2 gabaritos diferentes para estes: um de 10 pavimentos (30m de altura) e 20 pavimentos (60m de altura). Além disso, foram considerados os afastamentos desses edifícios vizinhos em relação ao edifício no qual o ambiente está sendo avaliado.

A maioria dos Planos Diretores Locais (PDL's) no Distrito Federal deixam a cargo do COE-DF a determinação do afastamento mínimo entre edifícios. No entanto, atualmente são as Normas de Edificação, Uso e Gabarito (NGB's), Normas de Gabarito (GB's), e Plantas Urbanísticas (PR's) a serem observadas para a determinação deste parâmetro, sendo que essas normas fazem essas especificações para cada conjunto de lotes em específico, o que dificultaria a escolha de afastamentos mínimos para um contexto mais geral.

Assim, foram analisadas algumas situações de afastamentos entre edifícios nas regiões administrativas. Foram escolhidos os valores de 10 metros e 5 metros, por ser um valor pequeno para afastamento, e bastante recorrente no Distrito Federal. Entretanto, vale ressaltar que o afastamento de 10m foi mais verificado que o de 5m.

Assim, foram determinados 3 tipos de obstruções causadas por edifícios vizinhos, ilustradas a seguir nas Figura 27 a 35.

Obs.: Para todas as simulações os ambientes avaliados se encontravam no primeiro pavimento do edifício.

EDIFÍCIO 1: 10 pavimentos (30m de altura) - Afastamento - 10m



Figura 27: Conjunto de edifícios em Águas Claras: afastamento de cerca de 10m.

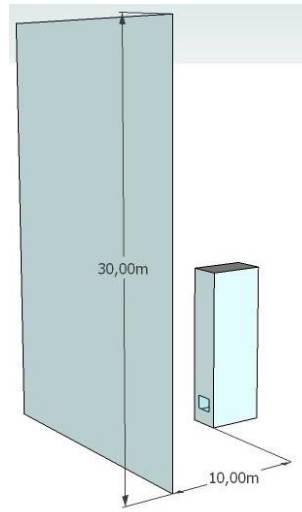


Figura 28: Modelo tridimensional com obstrução edifício 1.

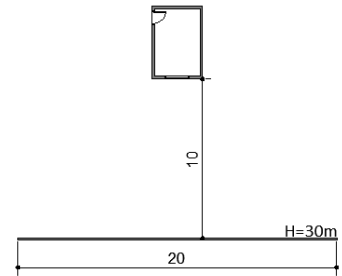


Figura 29: modelo com obstrução Edifício 1 em planta.

EDIFÍCIO 2: 20 pavimentos (60 de altura) - Afastamento - 10m



Figura 30: Conjunto de edifícios no Gama: afastamento de cerca de 10m.

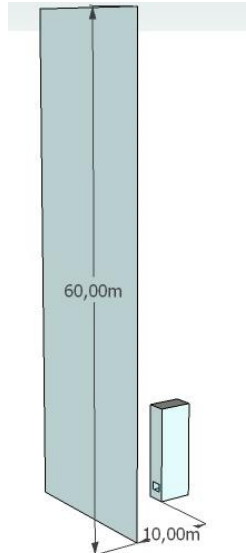


Figura 31: Modelo tridimensional com obstrução edifício 2.

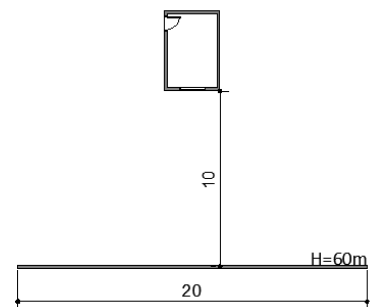


Figura 32: modelo com obstrução Edifício 2 em planta

EDIFÍCIO 3: 10 pavimentos (30 de altura) - Afastamento - 5m



Figura 33: Edifícios em Águas Claras: afastamento de cerca de 5m.

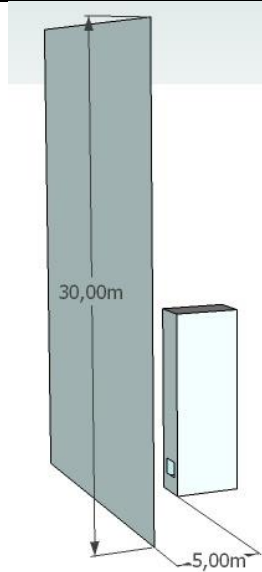


Figura 34: Modelo tridimensional com obstrução edifício 3.

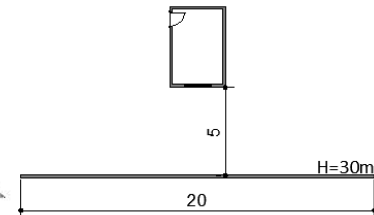


Figura 35: Modelo com obstrução Edifício 3

Todos os ambientes (sala, quarto, cozinha, área de serviço e cozinha com área de serviço) foram avaliados levando em consideração essas três obstruções.

- Prismas combinados a edifícios vizinhos

Cada um dos três tipos de prisma foi combinado aos três tipos de obstrução causada por edifícios vizinhos, resultando em nove combinações diferentes, como ilustrados a seguir por meio das Figura 36 a 53. Estas combinações foram analisadas para todos os ambientes (sala, quarto, cozinha, área de serviço e cozinha com área de serviço).

PRISMA 1 com EDIFÍCIO 1

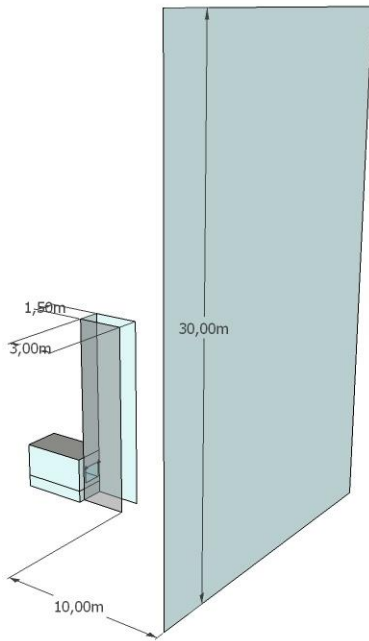


Figura 36: Modelo tridimensional com obstrução prisma 1 com edifício 1.

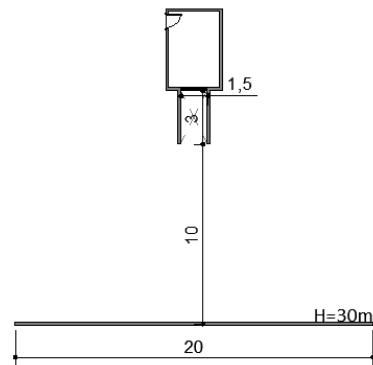


Figura 37: Modelo com obstrução prisma 1 com edifício 1 em planta.

PRISMA 1 com EDIFÍCIO 2

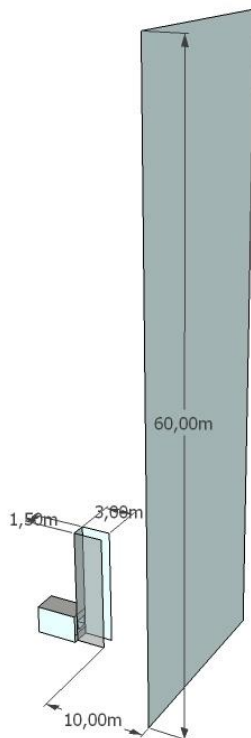


Figura 38: Modelo tridimensional com obstrução prisma 1 com edifício 2.

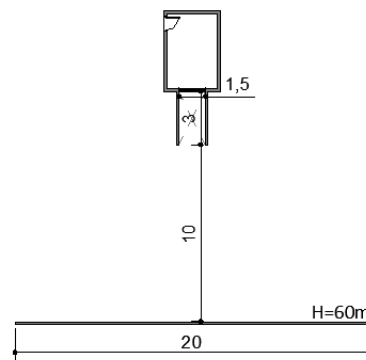


Figura 39: Modelo com obstrução prisma 1 com edifício 2 em planta.

PRISMA 1 com EDIFÍCIO 3

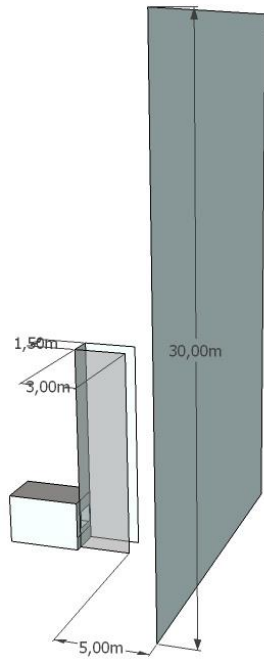


Figura 40: Modelo tridimensional com obstrução prisma 1 com edifício 3.

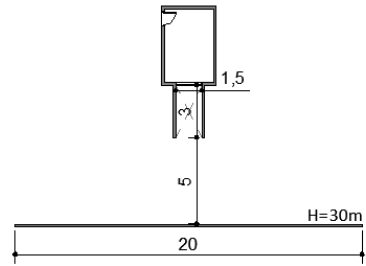


Figura 41: Modelo com obstrução prisma 1 com edifício 3 em planta.

PRISMA 2 com EDIFÍCIO 1

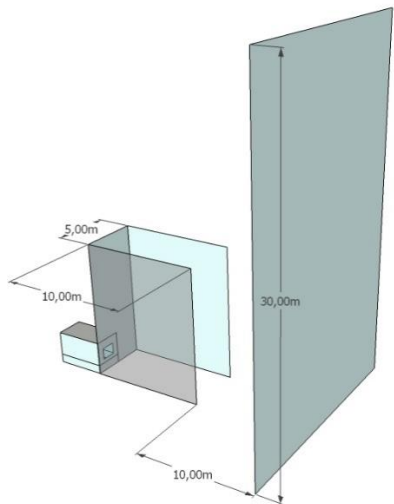


Figura 42: Modelo tridimensional com obstrução prisma 2 com edifício 1.

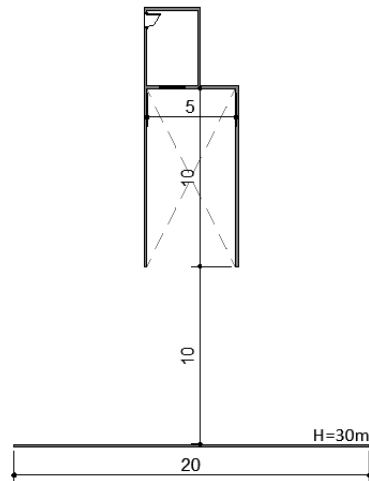


Figura 43: Modelo com obstrução prisma 2 com edifício 1 em planta.

PRISMA 2 com EDIFÍCIO 2

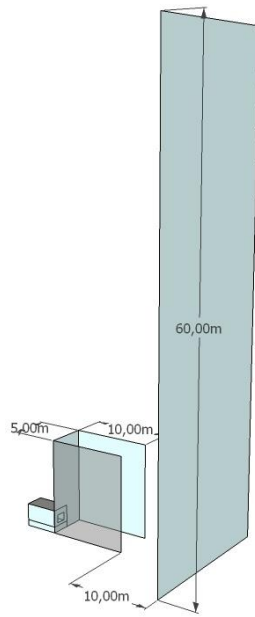


Figura 44: Modelo tridimensional com obstrução prisma 2 com edifício 2.

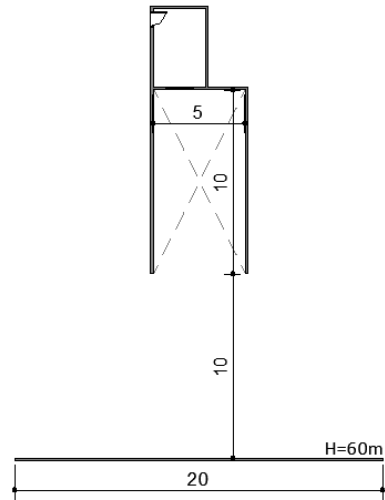


Figura 45: Modelo com obstrução prisma 2 com edifício 2 em planta.

PRISMA 2 com EDIFÍCIO 3

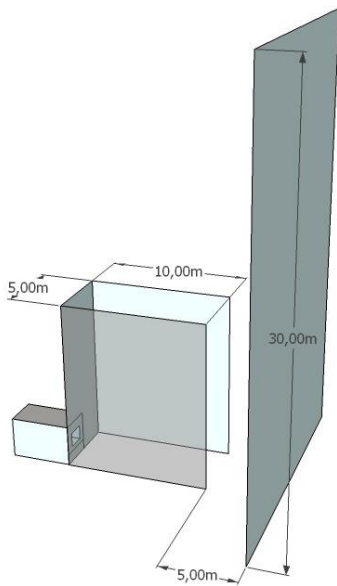


Figura 46: Modelo tridimensional com obstrução prisma 2 com edifício 3.

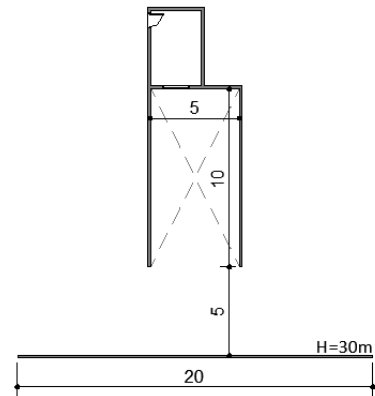


Figura 47: Modelo com obstrução prisma 2 com edifício 3 em planta.

PRISMA 3 com EDIFÍCIO 1

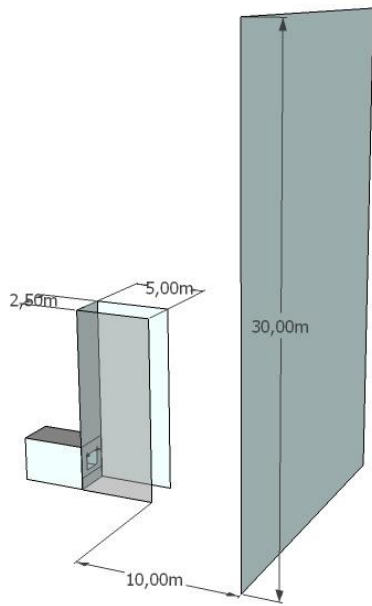


Figura 48: Modelo tridimensional com obstrução prisma 3 com edifício 1.

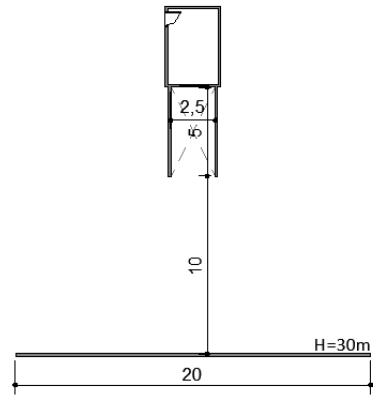


Figura 49: Modelo com obstrução prisma 3 com edifício 1 em planta.

PRISMA 3 com EDIFÍCIO 2

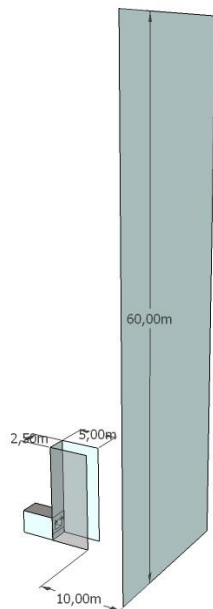


Figura 50: Modelo tridimensional com obstrução prisma 3 com edifício 2.

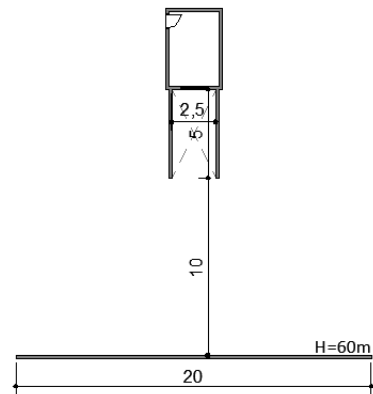


Figura 51: Modelo com obstrução prisma 3 com edifício 2 em planta.

PRISMA 3 com EDIFÍCIO 3

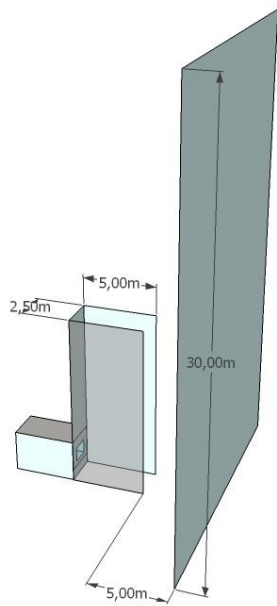


Figura 52: Modelo tridimensional com obstrução prisma 3 com edifício 3.

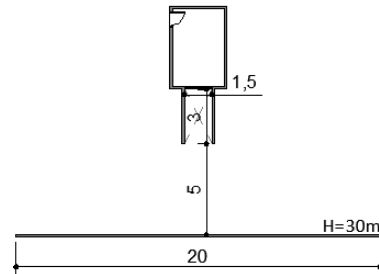


Figura 53: Modelo com obstrução prisma 3 com edifício 3 em planta.

- Saliência combinada a edifícios vizinhos

A obstrução “saliência” quando combinada às obstruções causadas por edifícios vizinhos resultou nos seguintes modelos ilustrados nas figuras 54 a 59, a seguir. Esta combinação de obstruções somente foi analisada para os ambientes SALA e QUARTO.

SALIÊNCIA com EDIFÍCIO 1

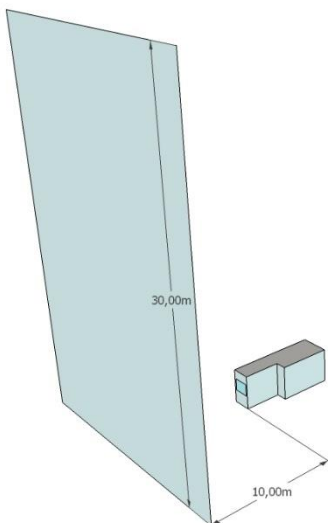


Figura 54: Modelo tridimensional com obstrução saliência com edifício 1.

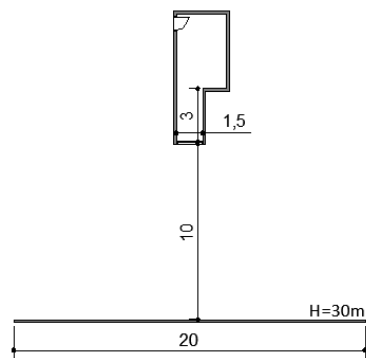


Figura 55: Modelo com obstrução saliência com edifício 1 em planta.

SALIÊNCIA com EDIFÍCIO 2

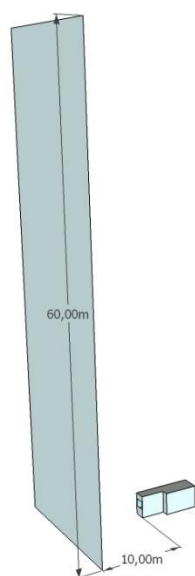


Figura 56: Modelo tridimensional com obstrução saliência com edifício 2.

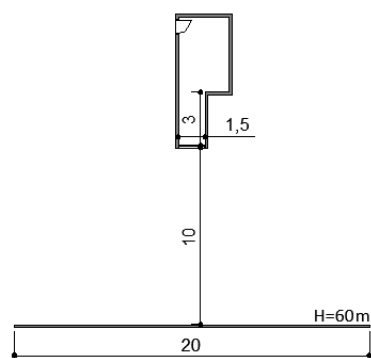


Figura 57: Modelo com obstrução saliência com edifício 2 em planta.

SALIÊNCIA com EDIFÍCIO 3

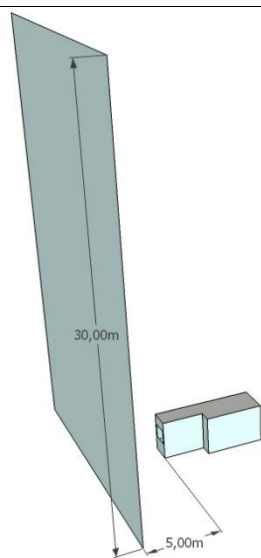


Figura 58: Modelo tridimensional com obstrução saliência com edifício 3.

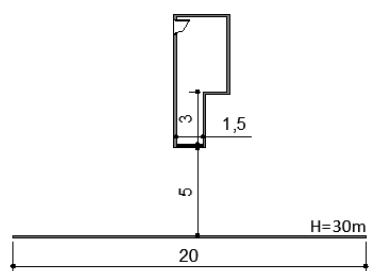
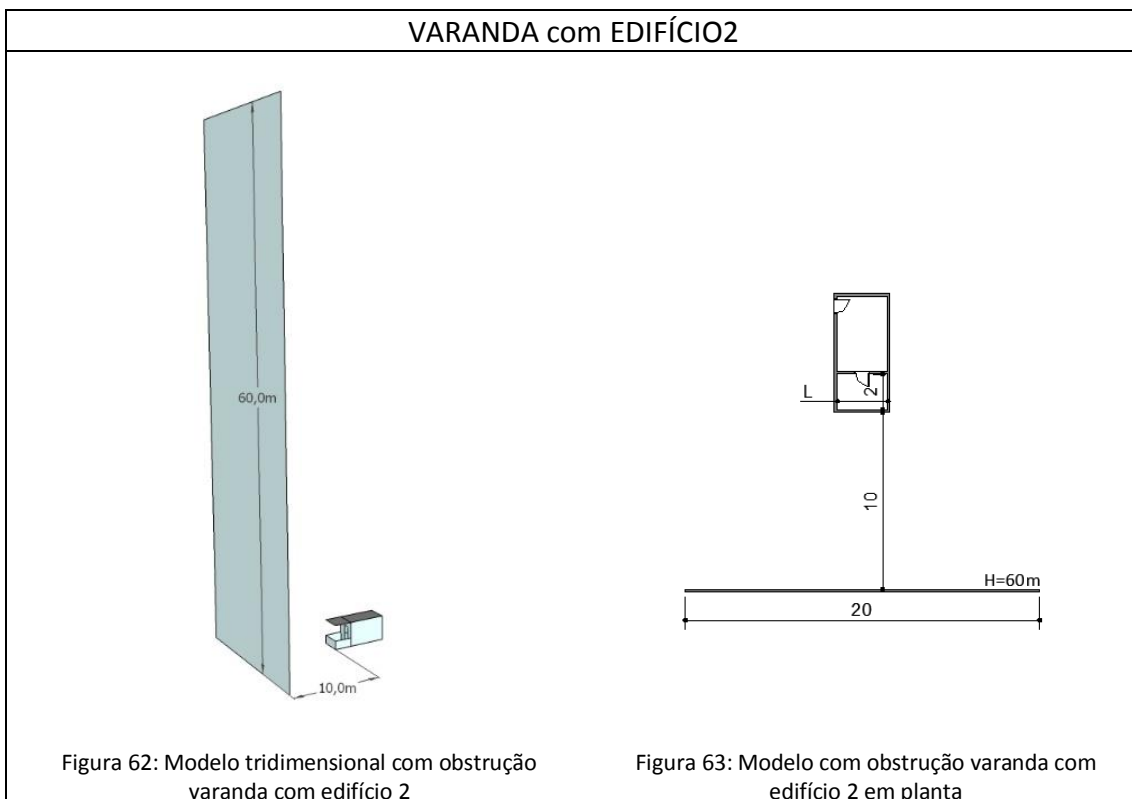
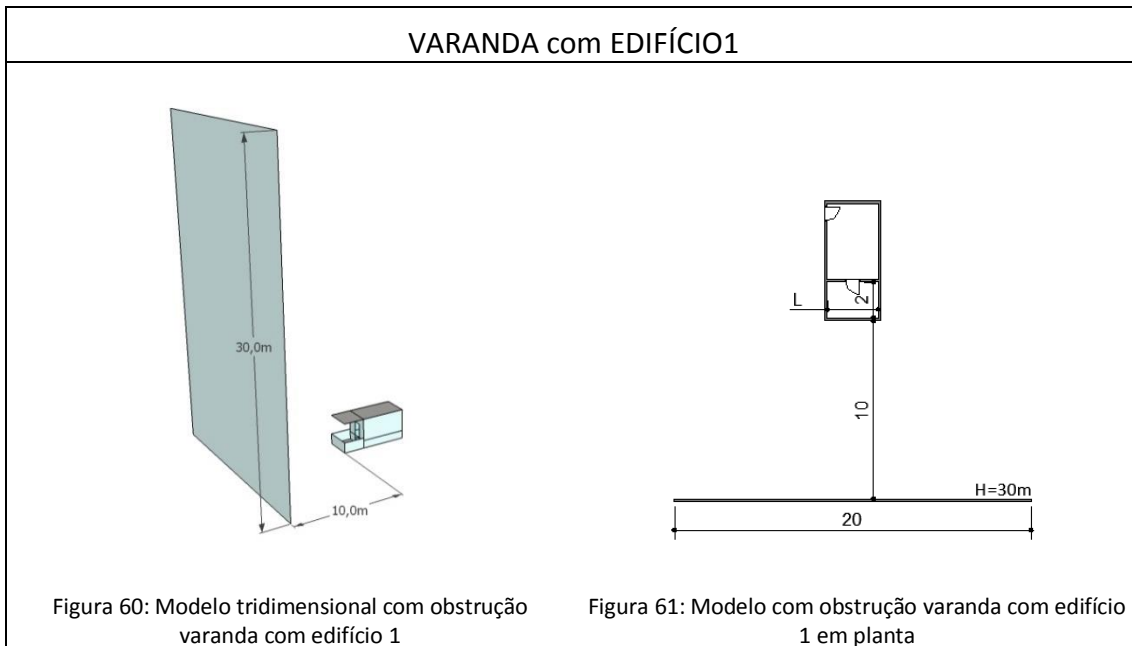


Figura 59: Modelo com obstrução saliência com edifício 2 em planta

- Varanda combinada a edifícios vizinhos

A obstrução “varanda” quando combinada às obstruções causadas por edifícios vizinhos resultou nos seguintes modelos ilustrados nas Figura 60 a 65, a seguir. Da mesma forma,

esta combinação de obstruções somente foi analisada para os ambientes SALA e QUARTO.



VARANDA com EDIFÍCIO3

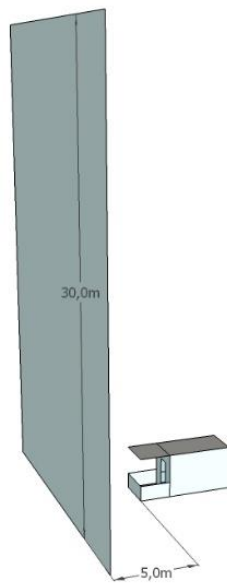


Figura 64: Modelo tridimensional com obstrução varanda com edifício 3

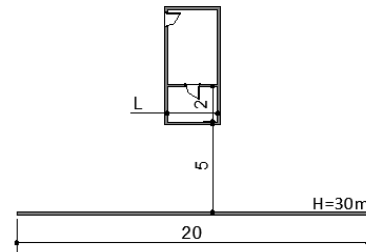


Figura 65: Modelo com obstrução varanda com edifício 3 em planta.

- Varanda combinada a edifícios vizinhos e a prismas

Para os ambientes SALA e QUARTO foram também combinadas as obstruções “varanda” a “edifícios vizinhos” e a “prismas”. Porém, neste caso, a situação de obstrução “prisma 1” foi descartada, por ser um prisma muito estreito para combiná-lo a uma varanda. Assim, estas combinações resultaram em seis modelos de obstruções, conforme é ilustrado nas figuras 66 a 77, a seguir.

VARANDA com PRISMA 2 e EDIFÍCIO 1

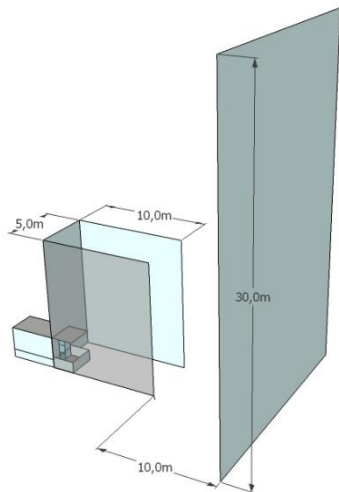


Figura 66: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 1

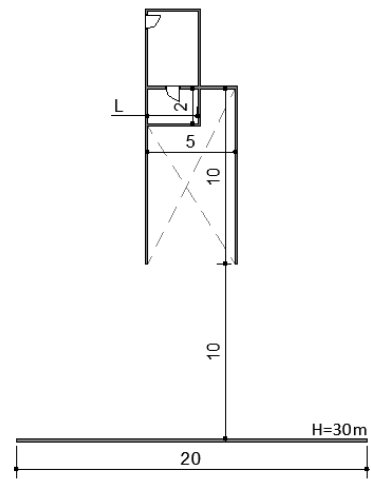


Figura 67: Modelo com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 1.

VARANDA com PRISMA 2 e EDIFÍCIO 2

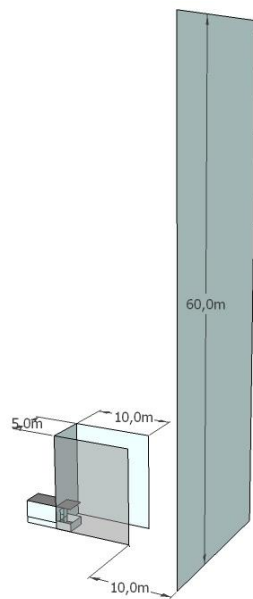


Figura 68: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 2

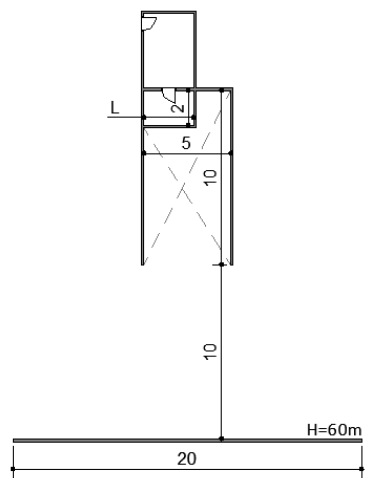


Figura 69: Modelo com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 2

VARANDA com PRISMA 2 e EDIFÍCIO 3

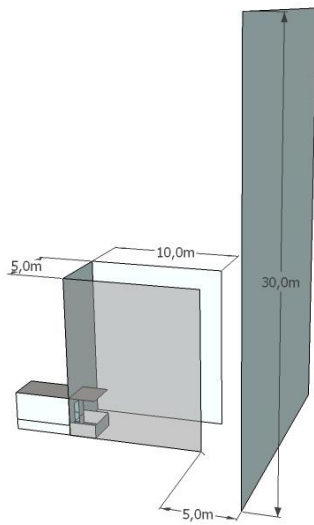


Figura 70: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 3

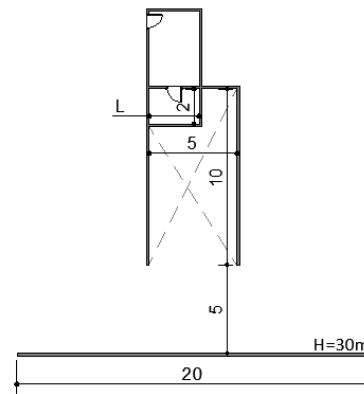


Figura 71: Modelo com obstrução varanda com prisma 2 e edifício 3

VARANDA com PRISMA 3 e EDIFÍCIO 1

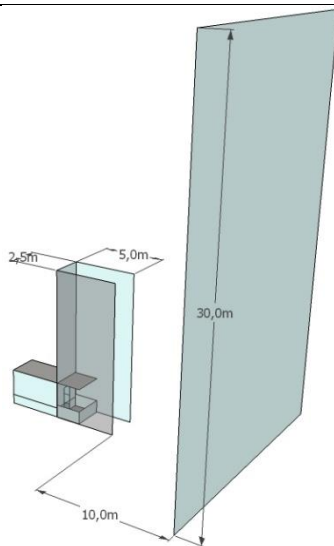


Figura 72: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 1

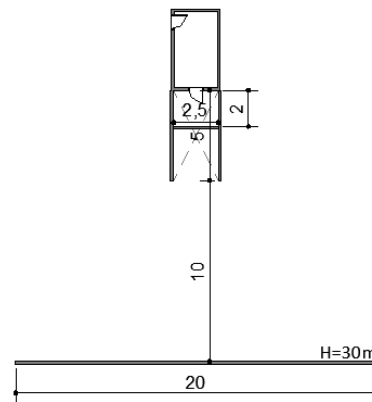


Figura 73: Modelo com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 1

VARANDA com PRISMA 3 e EDIFÍCIO 2

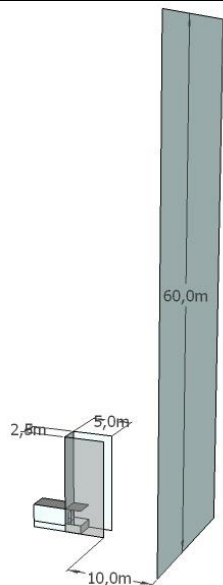


Figura 74: Modelo tridimensional com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 2

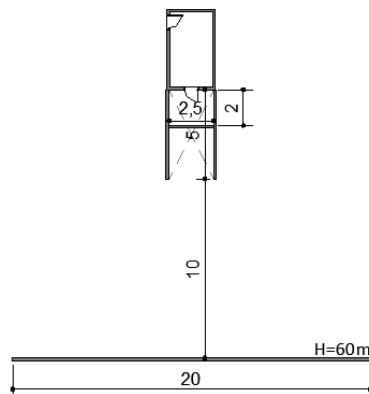


Figura 75: Modelo com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 2

VARANDA com PRISMA 3 e EDIFÍCIO 3

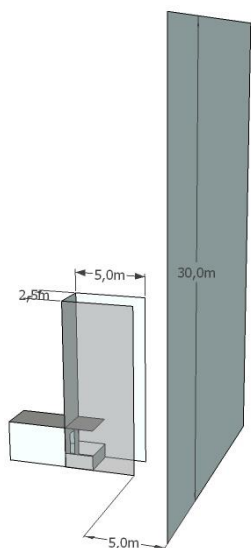


Figura 76: Modelos tridimensional com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 3

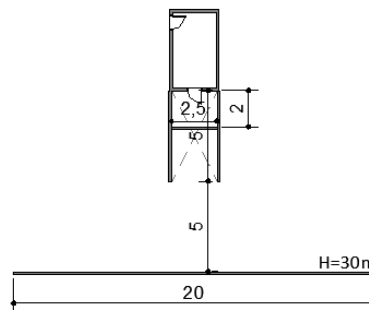


Figura 77: Modelo com obstrução varanda com prisma 3 e edifício 3

Outras combinações entre obstruções, como por exemplo entre saliência e varanda ou entre saliência e prismas, não foram feitas por não se verificar ocorrência em casos reais.

2.1.3 Definição do número de simulações

Uma vez determinada as características dos ambientes para simulação (geometria e refletância das superfícies) e as obstruções à luz natural (prismas, saliências, varanda e edifícios vizinhos) estipulou-se o número de simulações a serem realizadas.

A Tabela 7, a seguir, resume o número total de simulações realizadas na primeira etapa. Após estabelecer as combinações de variáveis arquitetônicas possíveis, chegou-se a 132 combinações para sala e quarto e 80 simulações para cada um dos ambientes restantes, gerando um total de 584 simulações nesta etapa.

Tabela 7: Simulações computacionais que serão realizadas na primeira etapa de avaliação.

Modelos para simulações	Sala	Quarto	Cozinha	Área de Serviço	Cozinha + Área	Cozinha + Área (com divisória)
Sem obstrução	1	1	1	1	1	1
Prisma 1	1	1	1	1	1	1
Prisma 2	1	1	1	1	1	1
Prisma 3	1	1	1	1	1	1
Edifício 1	1	1	1	1	1	1
Edifício 2	1	1	1	1	1	1
Edifício 3	1	1	1	1	1	1
Prisma 1 + Edifício 1	1	1	1	1	1	1
Prisma 2 + Edifício 1	1	1	1	1	1	1
Prisma 3 + Edifício 1	1	1	1	1	1	1
Prisma 1 + Edifício 2	1	1	1	1	1	1
Prisma 2 + Edifício 2	1	1	1	1	1	1
Prisma 3 + Edifício 2	1	1	1	1	1	1
Prisma 1 + Edifício 3	1	1	1	1	1	1
Prisma 2 + Edifício 3	1	1	1	1	1	1
Prisma 3 + Edifício 3	1	1	1	1	1	1
Saliência	1	1	-	-	-	-
Saliência + Edifício 1	1	1	-	-	-	-
Saliência + Edifício 2	1	1	-	-	-	-
Saliência + Edifício 3	1	1	-	-	-	-
Varanda	1	1	-	-	-	-
Varanda + Edifício 1	1	1	-	-	-	-
Varanda + Edifício 2	1	1	-	-	-	-
Varanda + Edifício 3	1	1	-	-	-	-
Varanda + Prisma 2	1	1	-	-	-	-
Varanda + Prisma 3	1	1	-	-	-	-
Varanda + Prisma 2 + Edifício 1	1	1	-	-	-	-
Varanda + Prisma 2 + Edifício 2	1	1	-	-	-	-
Varanda + Prisma 2 + Edifício 3	1	1	-	-	-	-
Varanda + Prisma 3 + Edifício 1	1	1	-	-	-	-
Varanda + Prisma 3 + Edifício 2	1	1	-	-	-	-
Varanda + Prisma 3 + Edifício 3	1	1	-	-	-	-
Orientações (Norte, Sul, Leste e Oeste)	X 4	X 4	X 4	X 4	X 4	X 4
Total por ambiente	132	132	80	80	80	80
TOTAL DE SIMULAÇÕES	584					

Em seguida, foram simulados novamente somente aqueles ambientes onde não se verificou o alcance do nível de iluminância pré-determinado (2ª etapa de simulações), conforme ilustrado no diagrama esquemático da metodologia. Ao todo, foram feitas 61 simulações nesta segunda etapa.

2.2 Determinação dos critérios de análise

2.2.1 Nível de iluminância do ambiente

O nível mínimo de iluminância para todos os ambientes analisados será estabelecido conforme as indicações de Reinhart (2005) para esses ambientes: mínimo de 100 lux provido por iluminação natural. Segundo Mardaljevic (2011), este é o valor mínimo para uma iluminância natural útil (inclusive utilizado com *default* no índice “*Useful Daylight Illuminance – UDI*” no programa *Daysim*).

2.2.2 Autonomia de luz natural (DA)

Autonomia de luz natural (DA) indica o percentual de horas em um determinado espaço em que o nível de iluminância de projeto é atendido durante o período de um ano (REINHART, MARDALJEVIC E ROGERS, 2006). Serão estabelecidos dois critérios para a análise das simulações:

- **CRITÉRIO 1:** DA de 70% das horas de análise (08h00 às 18h00 hora local) em 50% do espaço ou mais, critério em consonância às indicações presentes na parte de bonificações do RTQ-R para ambientes de permanência prolongada, incluindo cozinhas e área de serviço que possuam algum tipo de proteção solar. Ou seja, os ambientes deverão apresentar nível mínimo de 100 lux de iluminância em pelo menos 70% das horas diurnas de um ano de referência em pelo menos 50% da sua área. Para este trabalho, este é considerado o desempenho mínimo de iluminação natural.
- **CRITÉRIO 2:** DA de 70% das horas de análise (08h00 às 18h00 hora local) em 70% do espaço ou mais, critério em consonância às indicações presentes na parte de bonificações do RTQ-R para ambientes de permanência prolongada, incluindo cozinhas e área de serviço que não possuam proteção solar. Ou seja, os ambientes deverão apresentar nível mínimo de 100 lux de iluminância em pelo menos 70% das horas diurnas de um ano de referência em pelo menos 70% da sua área.

2.3 Procedimentos relativos às simulações computacionais

Para a simulação computacional, primeiramente cada um dos modelos-base foram modelados no software *SketchUp* 8. Esta modelagem inclui a caracterização das superfícies (vidros e materiais opacos) de acordo com a biblioteca de materiais do próprio software *Daysim* importada para o software *SketchUp*.

Um *plug-in* do software *Daysim*, chamado *su2ds*, foi instalado no *SketchUp* para favorecer a interação entre os dois programas. Esse *plug-in*, desenvolvido com o suporte da *National Research Council's* (NRC) do Canadá, permite que se especifique todas as informações necessárias no modelo para se realizar a simulação no *Daysim*, assim como permite facilmente a importação dos resultados gerados no *Daysim* de volta para o modelo do *SketchUp* em forma de gráfico em *false-color*.

Após a aplicação de materiais nas superfícies dos modelos, de acordo com as características determinadas para refletâncias de parede, teto, piso e transmissão luminosa do vidro, utiliza-se o *plug-in* *su2ds* para especificar a latitude e longitude da localidade onde se pretende avaliar o modelo, além do nome da cidade e país.

Em seguida, ainda utilizando o *su2ds*, uma malha de pontos é criada no interior do modelo. Neste caso, especificou-se uma malha a 75 centímetros de altura do piso, com distância de 50 centímetros entre pontos, conforme ilustra a figura 78.



Figura 78: Exemplo de modelo de ambiente com malha de pontos.

Cumpridos esses passos, o *su2ds* permite que o modelo seja exportado diretamente para o *Daysim*. No momento da exportação do arquivo, insere-se o arquivo climático da localidade para a qual se deseja realizar a simulação. Neste caso, utilizou-se o arquivo climático de Brasília, em formato *.epw*, disponibilizado no site do Laboratório de

Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (<http://www.labeee.ufsc.br>).

Após o arquivo ser exportado do SketchUp, ele é aberto no Daysim, onde se deverá especificar qual complexidade será utilizada na avaliação do modelo. O Daysim oferece duas opções para avaliação de complexidade. A “complexidade 1” é recomendada para modelos com geometria simples sem dispositivos de proteção solar, enquanto geometrias mais complexas ou que contenham dispositivos de proteção solar devem utilizar a “complexidade 2” de avaliação. Para as simulações deste trabalho, portanto, foi utilizada a “complexidade 2”.

Em seguida a simulação é realizada, e após seu processamento, deve-se estabelecer o horário de ocupação do ambiente e o nível mínimo de iluminância.

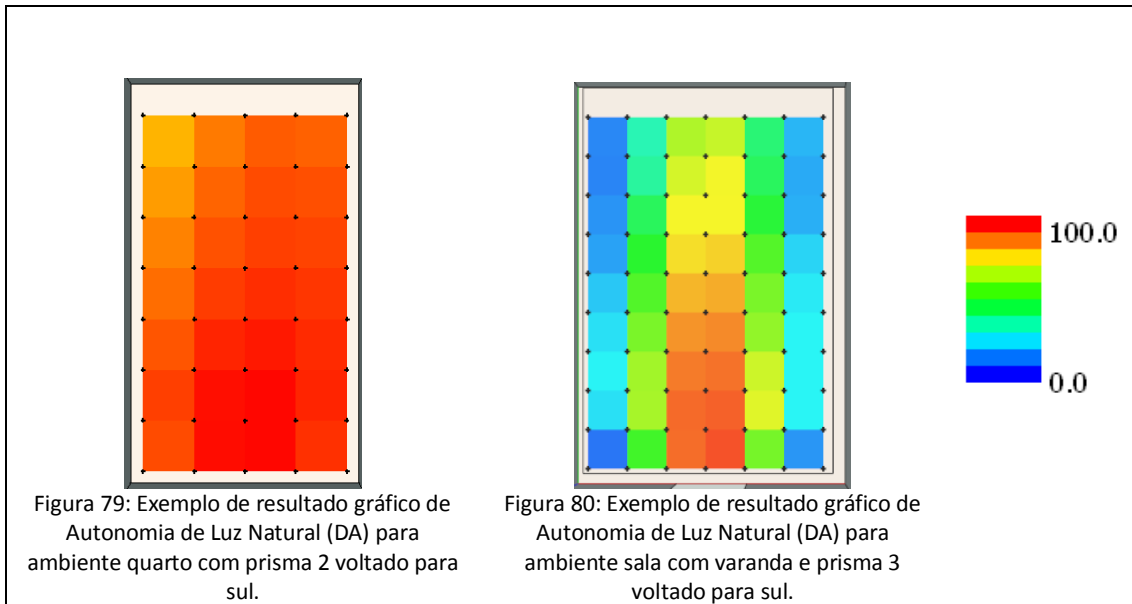
Para este trabalho o horário de ocupação considerado foi o mesmo que horas diurnas, ou seja, das 8 da manhã às 18 da tarde. O nível mínimo de iluminância requerido foi de 100 lux.

Após a finalização da simulação, é gerado um relatório com valores referentes ao percentual de horas atendidas para a iluminância pré-determinada para cada um dos pontos da malha que foi previamente determinada, identificados por coordenadas (x, y, z). O relatório fornece uma série de dados gerados pelo software, como Fator de Luz Diurna (FLD), Autonomia de Luz Natural (DA), Autonomia de Luz Contínua (DAcon), Autonomia de Luz Máxima (DAmax) e Iluminância Natural Útil (UDI), apresentados no item 1.5.1 do Referencial Teórico. A Tabela 8 apresenta um exemplo de relatório gerado para um ambiente (quarto com prisma 2 voltado para Sul), com o dado “Autonomia de Luz Natural” –DA (dado que foi utilizado) em destaque.

Tabela 8: Exemplo de relatório de resultados para uma simulação (quarto com prisma 2 voltado para sul).

x	y	z	DF [%]	DA [%]	DA _{con} [%]	DA _{max} [%]	UDI _{<100} [%]
2.750	10.250	0.750	0.7	86	93	2	14
2.750	10.750	0.750	1.0	92	96	5	8
2.750	11.250	0.750	1.0	91	96	4	9
2.750	11.750	0.750	0.8	89	95	2	11
2.750	12.250	0.750	0.7	87	94	1	13
2.750	12.750	0.750	0.6	86	94	0	14
2.750	13.250	0.750	0.5	83	92	0	17
2.750	13.750	0.750	0.4	82	92	0	18
3.250	10.250	0.750	4.3	98	99	43	2
3.250	10.750	0.750	3.9	99	100	48	1
3.250	11.250	0.750	2.5	97	99	24	3
3.250	11.750	0.750	1.5	95	98	4	5
3.250	12.250	0.750	1.0	93	97	1	7
3.250	12.750	0.750	0.8	91	96	0	9
3.250	13.250	0.750	0.7	89	95	0	11
3.250	13.750	0.750	0.6	87	95	0	13
3.750	10.250	0.750	5.9	99	100	68	1
3.750	10.750	0.750	5.8	100	100	74	0
3.750	11.250	0.750	3.6	99	100	44	1
3.750	11.750	0.750	2.1	97	99	10	3
3.750	12.250	0.750	1.4	95	98	1	5
3.750	12.750	0.750	1.0	94	97	0	7
3.750	13.250	0.750	0.8	93	97	0	7
3.750	13.750	0.750	0.7	91	96	0	9
4.250	10.250	0.750	5.5	99	100	57	1
4.250	10.750	0.750	5.7	100	100	70	0
4.250	11.250	0.750	3.4	99	100	42	1
4.250	11.750	0.750	2.2	97	99	13	3
4.250	12.250	0.750	1.5	96	99	1	5

Depois de gerado o relatório, retorna-se ao *software SketchUp* para importar os resultados gerados pelo Daysim para o modelo tridimensional e com isso obter o resultado gráfico de distribuição em planta de autonomia de luz natural (DA) para cada ambiente, conforme ilustram as figuras 79 e 80.



Os gráficos auxiliam na análise dos resultados, já que através das cores é possível rapidamente identificar os intervalos de autonomia de luz natural durante as horas diurnas no espaço do ambiente.

Quanto mais próximo ao tom vermelho maior é a autonomia de luz natural do ambiente de acordo com o nível mínimo de iluminância estabelecido. Da mesma forma, quanto mais próximo ao azul, menor está sendo o atendimento ao nível mínimo de iluminância estabelecido.

Na Figura 79, por exemplo, observa-se que na maior parte de sua área o mínimo de iluminância (100 lux) é mantido em 100% (vermelho) das horas diurnas de um ano de referência, e em uma pequena parte de sua área, o mesmo nível de iluminância é mantido em cerca de 90% (laranja) das horas diurnas.

Já na Figura 80 é possível observar uma grande variação nos índices de autonomia durante nas horas diurnas. Na área do ambiente pode-se verificar que existem tanto trechos onde o atendimento aos 100 lux acontece em 100% das horas (vermelho) quanto também trechos onde o atendimento se dá em apenas 10% das horas (azul médio).

Assim, para que fosse possível determinar exatamente os percentuais de atendimento ao mínimo de iluminância na área dos ambientes durante as horas diurnas, cada relatório de resultados foi analisado, separando somente os valores de Autonomia de

Luz Natural (DA) para cada ponto da malha e organizando-os em três faixas de atendimento nas horas diurnas: uma de 100 a 70%, outra de 69 a 50% e uma última abaixo de 50%. Em seguida, levando em consideração o total de pontos da malha, calculou-se a quantidade de pontos que se encontram dentro de cada faixa de atendimento, determinando-se assim o percentual de atendimento ao nível de iluminância mínimo de 100 lux na área do ambiente.

Assim, ainda a título de exemplo, o ambiente ilustrado na Figura 79 apresenta, de acordo com a metodologia adotada, 100% de sua área dentro da faixa de atendimento “100 a 70% das horas diurnas”.

Da mesma maneira, após avaliação do relatório com os dados que geraram o gráfico da Figura 80, verificou-se que o ambiente apresentou 44% de sua área dentro da faixa de autonomia “de 100 a 70%”, 19% de sua área dentro da faixa “69 a 50%” e 37% de sua área dentro da faixa “abaixo de 50%” de autonomia nas horas diurnas.

Para facilitar a organização dos dados, foram feitas tabelas-resumo contendo a análise dos resultados já separados por faixa de autonomia, para cada ambiente simulado.

Para facilitar o entendimento das tabelas-resumo, a seguir, na Tabela 9, são mostrados os resultados organizados dos exemplos dados nas figuras 79 e 80.

Tabela 9: Tabela-resumo para os exemplos das Figuras 51 e 52.

Dimensão da abertura	Modelo simulado	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)
			SUL
Largura = 1,25m Altura = 1 m (1/8 do piso)	QUARTO – PRISMA 2	Abaixo de 50%	0
		69 a 50%	0
		100 a 70%	100
Largura = 1,5 Altura = 1m (1/8 do piso)	SALA -VARANDA + PRISMA 3	Abaixo de 50%	37
		69 a 50%	19
		100 a 70%	44

No caso desses dois exemplos, nota-se que primeiro ambiente atende tanto à condição estipulada de desempenho da luz natural mínimo (100 lux em 70% das horas diurnas e 50% do espaço) quanto à condição de desempenho mais rigorosa (100 lux em 70% das horas diurnas e 50% do espaço), pois em 100% do seu espaço a autonomia nas horas diurnas está acima de 70% do tempo.

Já o segundo ambiente não alcançaria o desempenho para nenhuma das duas condições, já que apenas 44% de seu espaço alcança autonomia acima de 70% do tempo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados e discussões das simulações realizadas para todos os ambientes, contemplando todas as variáveis consideradas. Para auxiliar a análise dos resultados, os dados gerados pelas simulações foram organizados em três faixas de autonomia durante as horas diurnas anuais: de 100 a 70%, de 69 a 50% e abaixo de 50%. Essa divisão em três faixas permite identificar rapidamente sob qual circunstância um determinado ambiente não atende ao critério de desempenho 1 (100 lux em pelo menos 50% do espaço em 70% das horas diurnas anuais) ou ao critério de desempenho 2 (100 lux em pelo menos 70% do espaço em 70% das horas diurnas anuais).

Nas tabelas, quando um determinado modelo não atende ao critério de desempenho 1 (desempenho mínimo da iluminação natural - 100 lux em pelo menos 50% do espaço em 70% das horas diurnas anuais) sua célula aparece marcada na cor vermelha, e quando não atende ao critério de desempenho 2 (100 lux em pelo menos 70% do espaço em 70% das horas diurnas anuais), a célula aparece marcada na cor alaranjada.

Os gráficos de distribuição do percentual de atendimento da iluminância pré-estabelecida gerados pelas simulações que permitiram a extração dos resultados se encontram em anexo.

3.1 Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “sala”

A Tabela 10 refere-se aos resultados para os modelos simulados para sala.

Tabela 10: Resultados das simulações para sala – aberturas com 1/8 da área de piso

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para sala	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura = 1,5 Altura = 1m (1/8 do piso)						
	Sem obstrução	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para sala	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura = 1,5 Altura = 1m (1/8 do piso)	Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Saliência	Abaixo de 50%	9	12	12	0
		69 a 50%	8	7	12	7
		100 a 70%	83	81	76	93
	Saliência + Edifício 1	Abaixo de 50%	50	32	29	43
		69 a 50%	8	15	13	15
		100 a 70%	42	53	58	42
	Saliência + Edifício 2	Abaixo de 50%	47	40	33	52
		69 a 50%	13	10	14	5
		100 a 70%	40	50	53	43
	Saliência + Edifício 3	Abaixo de 50%	54	30	39	55
		69 a 50%	11	18	20	9
		100 a 70%	35	52	41	36
Porta de vidro Largura = 0,75m Altura = 2,1m (1/8 do piso)	Varanda	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Varanda + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Varanda + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Varanda + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Varanda + Prisma 2	Abaixo de 50%	0	9	0	0
		69 a 50%	13	13	9	3
		100 a 70%	87	78	91	97
	Varanda + Prisma 3	Abaixo de 50%	19	37	26	4
		69 a 50%	15	19	13	24
		100 a 70%	66	44	61	72
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	19	19	0	19
		69 a 50%	41	50	46	30
		100 a 70%	40	31	54	51
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	40	20	11	24
		69 a 50%	74	34	35	38
		100 a 70%	34	50	54	38
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	48	16	11	40
		69 a 50%	21	38	68	29
		100 a 70%	31	50	57	31
Varanda + Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	66	44	57	54	
	69 a 50%	15	26	20	20	
	100 a 70%	19	30	23	26	

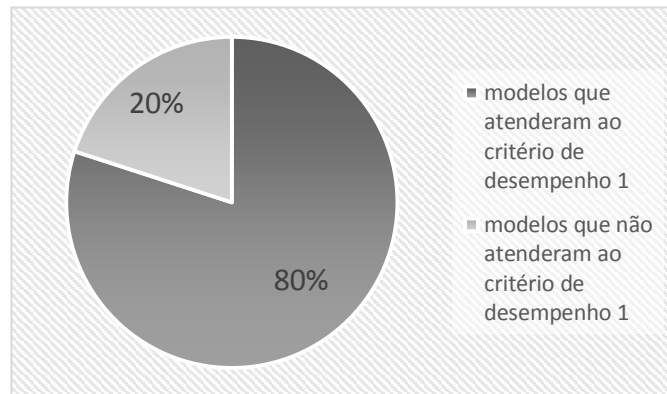
Dimensões das aberturas	Modelos simulados para sala	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Porta de vidro Largura = 0,75m Altura = 2,1m (1/8 do piso)	Varanda + Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	63	51	48	61
		69 a 50%	17	25	20	16
		100 a 70%	20	24	32	23
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	70	55	48	63
		69 a 50%	15	26	19	17
		100 a 70%	15	19	33	20

**Atendimento ao critério de desempenho 1
(100 lux em 50% do espaço e 70% das horas diurnas anuais)**

Para os modelos simulados para o ambiente “sala” contemplando o impacto de todas as variáveis estabelecidas e área de abertura equivalente a 1/8 da área de piso, somente 20% dos modelos, ou seja, 26 (vinte e seis) variações não alcançaram o critério de desempenho 1:

- a) Sala com saliência + obstrução causada por edifício vizinho 1 (orientações Norte e Oeste);
- b) Sala com saliência + obstrução causada por edifício vizinho 2 (orientação Norte e Oeste);
- c) Sala com saliência + obstrução causada por edifício vizinho 3 (orientação Norte, Leste e Oeste);
- d) Sala com varanda + obstrução por edifício vizinho 3 (orientação Sul);
- e) Sala com varanda + prisma 2 + obstrução por edifício vizinho 1 (orientações Norte e Sul);
- f) Sala com varanda + prisma 2 + obstrução por edifício vizinho 2 (orientações Norte e Oeste);
- g) Sala com varanda + prisma 2 + obstrução por edifício vizinho 3 (orientações Norte e Oeste);
- h) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 1 (todas as orientações);
- i) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 2 (todas as orientações);
- j) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 3 (todas as orientações).

Gráfico 1: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 1 para sala – desempenho mínimo.



Os 26 (vinte e seis) modelos que não alcançaram o critério de desempenho 1 foram marcados na cor vermelha na Tabela 10 e simulados novamente com novas dimensões de aberturas. A Tabela 11 demonstra os resultados para essa nova série de simulações, que foram realizadas considerando aberturas laterais equivalentes a 1/6 da área de piso do ambiente.

Tabela 11: Resultados das simulações para os modelos de sala para aqueles que não atenderam o critério de desempenho 1 - abertura de 1/6 da área de piso

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para sala	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura = 1,5 Altura = 1,35m (1/6 do piso)	Saliência + Edifício 1	Abaixo de 50%	13	-	-	26
		69 a 50%	26	-	-	24
		100 a 70%	61	-	-	50
	Saliência + Edifício 2	Abaixo de 50%	17	-	-	16
		69 a 50%	19	-	-	27
		100 a 70%	64	-	-	57
	Saliência + Edifício 3	Abaixo de 50%	13	-	20	17
		69 a 50%	26	-	21	26
		100 a 70%	61	-	59	57
Porta de vidro Largura = 0,92m Altura = 2,2m (1/6 do piso)	Varanda + Prisma 3	Abaixo de 50%	-	34	-	-
		69 a 50%	-	15	-	-
		100 a 70%	-	51	-	-
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	23	8	-	-
		69 a 50%	36	22	-	-
		100 a 70%	41	70	-	-
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	20	-	-	10
		69 a 50%	37	-	-	43
		100 a 70%	43	-	-	47
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	29	-	-	17
		69 a 50%	27	-	-	45
		100 a 70%	44	-	-	38
	Varanda + Prisma 3+ Edifício 1	Abaixo de 50%	51	37	36	57
		69 a 50%	23	23	34	22
		100 a 70%	26	40	30	21
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	56	44	44	61
		69 a 50%	17	26	30	19
		100 a 70%	27	30	26	20
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	73	43	47	66
		69 a 50%	6	24	21	11
		100 a 70%	21	33	31	23

Para esta nova medida de abertura, 17 (dezessete) variações de modelos de ambientes continuaram a não atender à exigência mínima (critério de desempenho 1):

- a) Sala com varanda + prisma 2 + obstrução por edifício vizinho 1 (orientação Norte);
- b) Sala com varanda + prisma 2 + obstrução por edifício vizinho 2 (orientações Norte e Oeste);
- c) Sala com varanda + prisma 2 + obstrução por edifício vizinho 3 (orientações Norte e Oeste);
- d) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 1 (todas as orientações);

e) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 2 (todas as orientações);

f) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 3 (todas as orientações);

Os modelos que ainda assim não alcançaram o critério de desempenho 1 foram marcados na cor vermelha na Tabela 11 e simulados novamente. A Tabela 12 demonstra os resultados para essa nova série de simulações, que foram realizadas considerando aberturas laterais equivalentes a 1/5 da área de piso do ambiente.

Tabela 12: Resultados das simulações para os modelos de sala para aqueles que não atenderam o critério de desempenho 1 - abertura de 1/5 da área de piso.

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para sala	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Porta de vidro Largura = 1,10m Altura = 2,2m (1/5 do piso)						
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	7	-	-	-
		69 a 50%	30	-	-	-
		100 a 70%	63	-	-	-
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	5	-	-	5
		69 a 50%	18	-	-	25
		100 a 70%	77	-	-	70
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	10	-	-	7
		69 a 50%	33	-	-	40
		100 a 70%	57	-	-	53
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	46	17	20	37
		69 a 50%	20	27	32	30
		100 a 70%	34	56	48	33
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	47	17	20	41
		69 a 50%	17	27	32	27
		100 a 70%	36	56	48	31
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	59	12	47	47
		69 a 50%	17	35	21	24
		100 a 70%	24	54	31	29

Ainda assim, 9 (nove) variações de modelos ainda não alcançaram o critério de desempenho 1:

a) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 1 (orientações Norte, Leste e Oeste);

b) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 2 (orientações Norte, Leste e Oeste);

b) Sala com varanda + prisma 3 + obstrução por edifício vizinho 3 (orientações Norte, Leste e Oeste).

Essas variações tiveram de ser simuladas com aberturas equivalentes a 1/4 da área de piso para que atendessem ao critério de desempenho 1, conforme demonstra a Tabela 13.

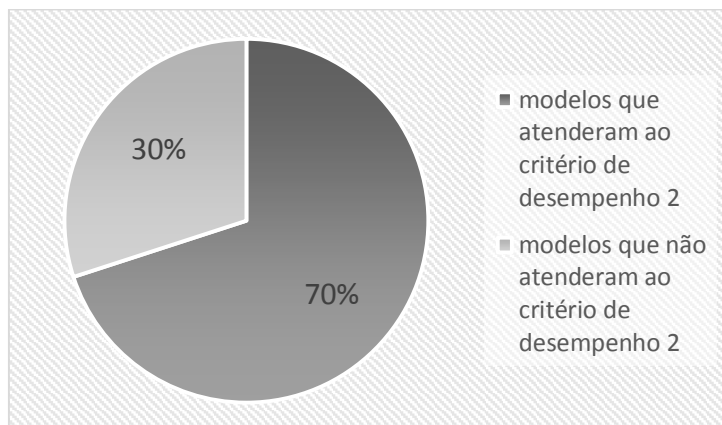
Tabela 13: Resultados das simulações para os modelos de sala para aqueles que não atenderam o critério mínimo de desempenho - abertura de 1/4 da área de piso

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para sala	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Porta de vidro Largura = 1,38m Altura = 2,2m (1/4 do piso)	Varanda + Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	14	-	3	0
		69 a 50%	19	-	31	37
		100 a 70%	67	-	66	63
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	19	-	6	2
		69 a 50%	26	-	30	38
		100 a 70%	56	-	64	60
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	11	-	19	19
		69 a 50%	38	-	30	30
		100 a 70%	51	-	51	51

Atendimento ao critério de desempenho 2 (100 lux em 70% do espaço e 70% das horas diurnas anuais)

Embora somente 20% dos modelos simulados para sala não tenham atendido ao critério de desempenho 1, foi constatado que se a mesma avaliação for feita levando em conta o critério de desempenho 2 (100 lux em 70% do espaço e 70% do tempo), 39 modelos passariam a não atender esse critério, ao invés de 26. Isso quer dizer que haveria um não atendimento de 30%, ao invés de 20%.

Gráfico 2: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 2 para sala – critério mais rigoroso



De maneira geral, foi possível observar que sob esta condição as variações de modelos que não obtiveram atendimento foram:

- a) Saliência+ Edifício (1, 2 e 3) – para todas as orientações;
- b) Varanda + Prisma 3 – orientações Norte, Sul e Leste;
- c) Varanda + Prismas (2 e 3) + Edifício (1, 2 e 3) – para todas as orientações.

Modelos de sala que atenderam aos dois critérios de desempenho

Nos modelos simulados sem obstrução de nenhuma espécie, verificou-se que os níveis de iluminância ficaram acima de 100 lux em 70% do espaço e 70% do tempo para todas as orientações, atendendo, portanto, ao critério de desempenho 2 (mais rigoroso).

O mesmo ocorreu quando os três tipos de prismas, a saliência, a varanda ou os três tipos de edificações vizinhas foram avaliados um a um. Isoladamente, nenhuma dessas obstruções provocaram um desempenho desfavorável do ponto de vista do aproveitamento da luz natural, mantendo o nível de autonomia para atendimento do critério 2 para todas as orientações.

Quando os três tipos de prismas foram avaliados em conjunto com obstrução causada por edifício vizinho, em todos os casos, os níveis de autonomia também permitiram o atendimento do critério de desempenho 2 para todas as orientações, assim como no caso da combinação entre a variável varanda com obstrução causada por edifício vizinho.

Identificação das obstruções que provocaram piores desempenhos

Para o ambiente “sala”, vê-se que o pior desempenho da luz natural foi identificado quando se combinam as variáveis “varanda com prisma 3 (2,5m x 5m) e obstruções causadas por edifícios vizinhos”. Os modelos que apresentavam essa combinação de variáveis tiveram de ser simulados para aberturas laterais equivalentes a 1/5 ou 1/4 da área de piso do ambiente para que os mesmos passassem a atender ao critério de desempenho 1.

Em seguida, os modelos que apresentaram piores condições de desempenho foram: a combinação entre “varanda com prismas 2 (5m x 10m) e obstruções causadas por edifícios vizinhos” e a combinação entre “saliência e obstruções causadas por edifícios vizinhos”.

Com relação às variáveis consideradas isoladamente, a que apresentou pior desempenho foi a variável “saliência”.

Identificação do desempenho por orientação

Em geral, levando em conta todos os modelos simulados para sala, a orientação que apresentou melhor desempenho foi a Leste. Em contrapartida, a orientação Norte foi a que apresentou os piores níveis de desempenho.

Para os modelos que atenderam todas as condições de desempenho, ou seja, para aqueles com menos obstruções, observou-se as seguintes situações, observando as imagens geradas pelas simulações (Anexo 1):

- Quando não há obstrução causada por edifício vizinho a orientação Oeste é a que apresenta os maiores índices de autonomia, e a Leste a apresenta os piores índices de autonomia. O segundo pior desempenho foi verificado na orientação Sul.
- Quando existem obstruções causadas por edifícios vizinhos, a orientação Norte e Oeste passam a ser as que apresentam os piores índices de autonomia, e a orientação Leste, nestes casos, passa a ser a que apresenta o melhor desempenho.

Para a variável “saliência”, a orientação Oeste foi a que apresentou o melhor desempenho, seguida pela orientação Norte. A orientação Leste foi a que apresentou o pior desempenho.

É importante ressaltar que neste trabalho está sendo avaliado somente o desempenho da luz natural nos ambientes, e não a questão do conforto térmico. Portanto, entende-se que embora algumas orientações favoreçam o desempenho da luz natural, não necessariamente esta mesma orientação será a mais adequada do ponto de vista térmico.

3.2 Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “quarto”

A tabela 14 refere-se aos resultados para os modelos simulados para quarto.

Tabela 14: Resultados das simulações para os modelos de quarto – aberturas de 1/8 da área de piso.

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para quarto	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura = 1,25m Altura =1 m (1/8 do piso)	Sem obstrução	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para quarto	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura = 1,25m Altura = 1 m (1/8 do piso)	Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Saliência	Abaixo de 50%	20	32	13	0
		69 a 50%	18	10	27	28
		100 a 70%	62	58	69	72
	Saliência + Edifício 1	Abaixo de 50%	36	40	42	41
		69 a 50%	14	20	10	14
		100 a 70%	50	40	50	45
	Saliência + Edifício 2	Abaixo de 50%	46	35	47	37
		69 a 50%	8	13	12	13
		100 a 70%	46	52	41	50
	Saliência + Edifício 3	Abaixo de 50%	50	37	46	48
		69 a 50%	7	13	9	9
		100 a 70%	43	50	45	43
Porta de vidro Largura = 0,6m Altura = 2,1m (1/8 do piso)	Varanda	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Varanda + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Varanda + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Varanda + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Varanda + Prisma 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	12	6	0
		100 a 70%	100	88	94	100
	Varanda + Prisma 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	25	12	3
		100 a 70%	100	75	88	97
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	17	17	22	22
		100 a 70%	83	83	78	78
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	6	0	2	2
		69 a 50%	24	15	16	11
		100 a 70%	70	85	82	87
	Varanda + Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	12	0	4	4
		69 a 50%	22	22	28	40
		100 a 70%	66	78	68	56
Varanda + Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	8	25	0	49	
	69 a 50%	50	42	20	25	
	100 a 70%	42	33	80	26	

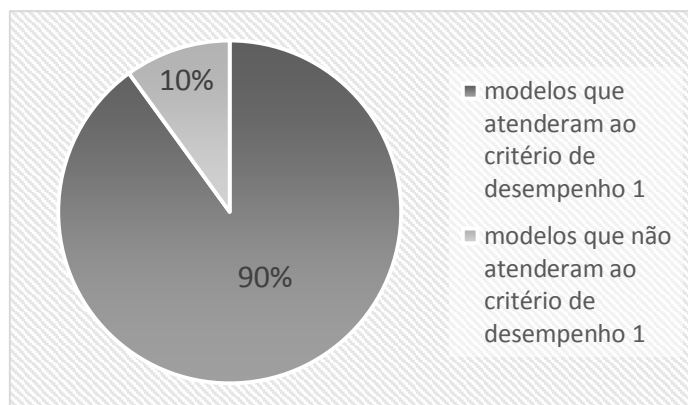
Dimensões das aberturas	Modelos simulados para quarto	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Porta de vidro Largura= 0,6m Altura = 2,1m (1/8 do piso)	Varanda + Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	26
		69 a 50%	29	45	6	34
		100 a 70%	71	55	94	40
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	48	6	0	17
		69 a 50%	18	42	11	48
		100 a 70%	34	52	89	35

**Atendimento ao critério de desempenho 1
(100 lux em 50% do espaço e 70% das horas diurnas anuais)**

Para os modelos simulados do ambiente “quarto”, somente 13 (treze) variações não alcançaram o nível de iluminância para o critério de desempenho 1, ou, o equivalente a 10% dos modelos, considerando aberturas com dimensão equivalentes a 1/8 da área de piso do ambiente:

- a) Quarto com saliência + obstrução causada por edifício vizinho 1 (orientações Sul e Oeste);
- b) Quarto com saliência + obstrução causada por edifício vizinho 2 (orientações Norte e Leste);
- c) Quarto com saliência + obstrução causada por edifício vizinho 3 (orientações Norte, Leste e Oeste);
- d) Quarto com varanda + prisma 3 + obstrução causada por edifício vizinho 1 (orientações Norte, Sul e Oeste);
- e) Quarto com varanda + prisma 3 + obstrução causada por edifício vizinho 2 (orientação Oeste);
- f) Quarto com varanda + prisma 3 + obstrução causada por edifício vizinho 3 (orientações Norte e Oeste);

Gráfico 3: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 1 de iluminação natural para quarto



Desta maneira, nota-se que somente os modelos de quartos com “saliência combinados à obstrução causada por edifício vizinho” e de “varandas combinadas a primas 3 e obstrução causada por edifício vizinho” apresentaram problemas no atendimento ao critério de desempenho 1 da iluminação natural.

Os 13 (treze) modelos que não alcançaram o critério de desempenho 1 foram marcados na cor vermelha na tabela 14 e simulados novamente. A tabela 15 demonstra os resultados para essa nova série de simulações, que foram realizadas considerando aberturas laterais equivalentes a 1/6 da área de piso do ambiente.

Tabela 15: Resultados das simulações para os modelos de QUARTO para aqueles que não atenderam o critério de desempenho 1 - abertura de 1/6 da área de piso

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para quarto	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura=1,25 Altura = 1,32m (1/6 do piso)	Saliência + Edifício 1	Abaixo de 50%	-	13	-	31
		69 a 50%	-	27	-	16
		100 a 70%	-	60	-	53
	Saliência + Edifício 2	Abaixo de 50%	26	8	5	-
		69 a 50%	12	27	31	-
		100 a 70%	62	65	64	-
	Saliência + Edifício 3	Abaixo de 50%	36	-	27	28
		69 a 50%	8	-	17	13
		100 a 70%	56	-	56	59
Porta de vidro Largura = 0,8m Altura = 2,2m (1/6 do piso)	Varanda + Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	19	5	-	0
		69 a 50%	31	15	-	15
		100 a 70%	50	80	-	85
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	-	-	-	29
		69 a 50%	-	-	-	26
		100 a 70%	-	-	-	45
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	37	-	-	41
		69 a 50%	32	-	-	27
		100 a 70%	31	-	-	32

Os modelos que ainda assim não alcançaram o critério de desempenho 1 foram marcados na cor vermelha na tabela 15 e simulados novamente. A tabela 16 demonstra os resultados para essa nova série de simulações, que foram realizadas considerando aberturas laterais equivalentes a 1/5 da área de piso do ambiente. Nesta situação todos os ambiente passaram a atender o critério de desempenho 1.

Tabela 16: Resultados das simulações para os modelos de quarto para aqueles que não atenderam o critério de desempenho 1 - abertura de 1/5 do piso

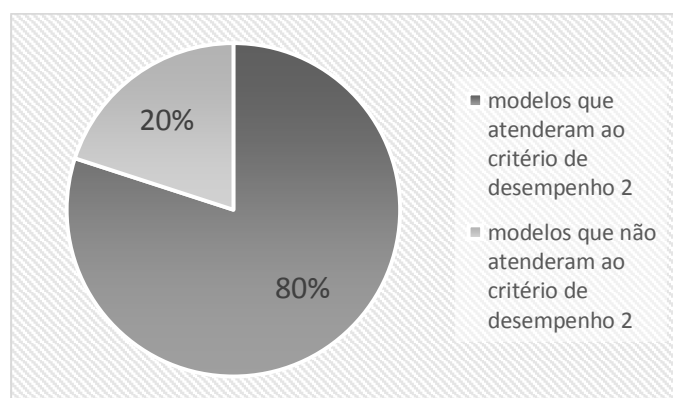
Dimensões das aberturas	Modelos simulados para quarto	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Porta de vidro Largura = 0,8m Altura = 2,2m (1/5 do piso)	Varanda + Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	-	-	-	6
		69 a 50%	-	-	-	30
		100 a 70%	-	-	-	64
	Varanda + Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	11	-	-	8
		69 a 50%	36	-	-	33
		100 a 70%	56	-	-	59

Como o critério de desempenho 1 se refere ao desempenho mínimo da iluminação natural, pode-se afirmar que para o ambiente “quarto” a variação de modelo que apresentou pior desempenho foi a combinação entre “varanda + prisma 3 + edifícios”, exatamente como no caso do modelo para “sala”.

Atendimento ao critério de desempenho 2 (100 lux em 70% do espaço e 70% das horas diurnas anuais)

Embora somente 10% dos modelos simulados para quarto não tenham atendido ao critério de desempenho 1, foi constatado que se a mesma avaliação for feita levando em conta o critério 2 (100 lux em 70% do espaço e 70% do tempo), 26 (vinte e seis) modelos passariam a não atender esse critério, ao invés de 13 (treze). Isso quer dizer que haveriam um não atendimento de 20%, ao invés de 10%.

Gráfico 4: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 2 para quarto – critério mais rigoroso.



De maneira geral, foi possível observar que sob esta condição as variações de modelos que não obtiveram atendimento foram:

- a) Saliência – orientações Norte, Sul e Leste;
- b) Saliência + Edifícios (1, 2 e 3) – para todas as orientações;
- c) Varanda + Prisma 2 + Edifício 3 - orientações Norte, Leste e Oeste;
- d) Varanda + Prisma 3 + Edifícios (1, 2 e 3) - orientações Norte, Sul e Oeste;

Modelos que atenderam aos dois critérios de desempenho

Na avaliação das variáveis arquitetônicas de forma isolada, foi possível notar que prismas e varandas permitiram ao ambiente alcançar o atendimento dos dois critérios de desempenho. O mesmo ocorreu na avaliação da presença de edifícios vizinhos, quando analisados isoladamente.

O atendimento aos dois critérios também se deu quando foram combinados “prismas com obstruções causadas por edifícios vizinhos”, “varanda com obstruções causadas por edifícios vizinhos” e “varanda com prisma”.

Identificação das obstruções que provocaram piores desempenhos da luz natural

Dentre as variáveis avaliadas para este ambiente, a “saliência” pode ser considerada a que provocou o pior desempenho da iluminação natural no interior do ambiente. Porém, assim como foi verificado no ambiente “sala”, quando se considerou abertura lateral equivalente a $1/6$ da área de piso, em todos os casos com presença de saliência o critério de desempenho 1 foi atendido.

Assim como no ambiente “sala”, o modelo que apresentou pior desempenho dentre todos avaliados foi o que combinou as variantes arquitetônicas “varanda + prisma 3 + edifícios”. Esses modelos tiveram de ser simulados para aberturas laterais equivalentes a $1/5$ ou $1/4$ da área de piso do ambiente para que os mesmos passassem a atender ao desempenho mínimo de iluminação natural (critério de desempenho 1).

Identificação do desempenho por orientação

Em uma avaliação geral de todas as variações de modelos simulados para quarto, a orientação Sul foi a que apresentou melhor desempenho, enquanto a orientação Norte foi a que apresentou o pior desempenho. Porém, é importante salientar que as diferenças de desempenho são muito sutis. Por exemplo, enquanto a orientação Sul apresentou melhor desempenho em 5 (cinco) variações de modelos, a Norte apresentou melhor desempenho em 3 (três) variações, assim como a orientação Leste e Oeste.

Observando-se os modelos simulados de quarto que obtiveram atendimento para as duas exigências de desempenho, pôde-se constatar:

- Quando não há obstrução causada por edifício vizinho, a orientação Oeste é a que apresenta os maiores índices de autonomia e a Leste a que apresenta os piores índices, seguida da orientação Sul;
- Quando existem obstruções causadas por edifícios vizinhos, a orientação Oeste passa a ser a que apresenta os piores índices de autonomia, e a orientação Leste passa a ser a que apresenta os melhores índices, seguida pela orientação Sul. A exceção se dá nos casos de varandas com obstruções causadas por edifícios vizinhos, onde a melhor orientação passa a ser a Norte.

Para a variável “saliência”, a orientação Oeste foi a que apresentou o melhor desempenho, seguida pela orientação Leste e Norte. A orientação Sul foi a que apresentou o pior desempenho.

Verificou-se uma situação onde houve atendimento do critério de desempenho 2 somente para a orientação Sul (varanda + prisma 2 + edifício 3).

3.3 Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “cozinha”

A tabela 17, a seguir, refere-se aos resultados para os modelos simulados para cozinha.

Tabela 17: Resultados das simulações para os modelos de cozinha – abertura de 1/8 da área de piso.

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para cozinha	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura=0,625m Altura =1m (1/8 do piso)						
	Sem obstrução	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
100 a 70%		100	100	100	100	

Atendimento ao critério de desempenho 1 (100 lux em 55% do espaço e 50% das horas diurnas anuais) e do critério de desempenho 2 (100 lux em 70% do espaço e 70% das horas diurnas anuais)

Todos os modelos simulados para o ambiente “cozinha” alcançaram tanto o nível de iluminância para o critério de desempenho 1 quanto para o critério de desempenho 2, considerando dimensões de aberturas equivalentes a 1/8 da área do piso.

Na tabela-resumo para esse ambiente todas as variações de modelos resultaram na mesma composição de resultados (pois em todos os casos, para todas as orientações, o índice de iluminância de 100 lux é garantido de 70 a 100% do tempo em 100% do espaço).

Identificação das obstruções que provocaram piores desempenhos da luz natural

Analisando as imagens das simulações para esse ambiente, presentes do Anexo 3, o modelo que resultou no pior desempenho da luz natural foi o que combinava “prisma 1 (1,5m x 3m) + edifício 3 (10 andares a 5m de distância)”.

Identificação do desempenho por orientação

Analisando as imagens das simulações para esse ambiente, presentes do Anexo 3, foi possível observar que mesmo todas as variações atendendo aos critérios já citados, a orientação Oeste foi a que apresentou os piores desempenhos, seguido da orientação Sul e Norte. A orientação Leste foi a que apresentou os melhores resultados.

Nas situações onde não havia obstruções causadas por edifícios vizinhos, ou seja, nos modelos sem obstrução, com prisma 1, prisma 2 e prisma 3, as orientações Sul e Leste foram as mais prejudicadas do ponto de vista do desempenho da luz natural, e a orientação Oeste foi a que apresentou melhor desempenho.

Já quando as obstruções causadas por edifícios vizinhos foram consideradas, na grande maioria dos casos, a orientação Oeste passou a ter o pior desempenho, seguido da orientação Sul, e a orientação Leste passou a apresentar o melhor desempenho, seguida da orientação Norte.

3.4 Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “área de serviço”

A Tabela 18 apresenta os resultados para os modelos da área de serviço.

Tabela 18: Resultados das simulações para os modelos de área de serviço – abertura de 1/8 da área de piso.

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para área de serviço	Faixas de autonomia nas horas diurnas	Autonomia espacial (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura=0,5m Altura =0,8m (1/8 do piso)						
	Sem obstrução	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	5
		100 a 70%	100	100	100	95
	Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	11
		100 a 70%	100	100	100	89
	Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
100 a 70%		100	100	100	100	

Atendimento ao critério de desempenho 1 (100 lux em 55% do espaço e 50% das horas diurnas anuais) e do critério de desempenho 2 (100 lux em 70% do espaço e 70% das horas diurnas anuais)

Todos os modelos simulados para o ambiente “área de serviço” alcançaram tanto o critério de desempenho 1 quanto o critério de desempenho 2, considerando dimensões de aberturas equivalentes a 1/8 da área do piso.

Identificação das obstruções que provocaram piores desempenhos da luz natural

O modelo que apresentou pior desempenho foi o que combinava “prisma 1 (1,5m x 3m) + edifício 3 (10 andares a 5m de distância)”, exatamente como no caso da cozinha.

Identificação do desempenho por orientação

Para os modelos que contemplaram ausência de obstrução, prisma 1, prisma 2 e prisma 3 a orientação Oeste foi a que apresentou o melhor desempenho em comparação às outras orientações, enquanto a orientação Sul foi a que apresentou o pior desempenho.

Quando as obstruções causadas por edifícios vizinhos foram isoladamente consideradas, as orientações Leste e Oeste apresentaram o pior desempenho, enquanto que as orientações Norte e Sul apresentaram desempenho bastante similar.

Quando os modelos foram simulados combinando prismas e obstruções causadas por edifícios vizinhos, na grande maioria dos casos a orientação Oeste foi a que apresentou os piores desempenhos, seguida pela orientação Leste e Sul. Portanto, nessas condições, a orientação Norte foi a que apresentou os melhores resultados.

Assim, para o caso dos ambientes simulados para área de serviço pode-se constatar ao menos dois padrões de desempenho: um quando não há obstrução causada por edifício vizinho, onde os ambientes voltados para Oeste apresentam maior autonomia de luz natural enquanto aqueles voltados para Sul são os que apresentam os menores índices de autonomia; e outro quando existem obstruções causadas por edifícios vizinhos, onde, na maioria dos casos, os ambientes voltados para Oeste foram os que apresentaram os piores valores de autonomia e os voltados para Norte aqueles que apresentaram os melhores índices de autonomia de luz natural.

3.5 Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “cozinha conjugada com área de serviço”

A tabela 19 apresenta os resultados para os modelos da cozinha com área de serviço.

Tabela 19: Resultados das simulações para os modelos de cozinha + área de serviço – abertura de 1/8 da área de piso

	Modelos simulados para cozinha + área de serviço	Faixas de autonomia nas horas diurnas	Autonomia espacial (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura=1,125m Altura =1m (1/8 do piso)	Sem obstrução	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	1	6	0	22
		100 a 70%	99	94	100	78
	Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	2	0	0	8
		100 a 70%	98	100	100	92
	Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	1
		100 a 70%	100	100	100	99
	Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	0
		100 a 70%	100	100	100	100
	Prisma 1 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0
		69 a 50%	0	0	0	2
		100 a 70%	100	100	100	98
Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0	
	69 a 50%	0	0	0	0	
	100 a 70%	100	100	100	100	
Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	0	0	0	0	
	69 a 50%	0	0	0	0	
	100 a 70%	100	100	100	100	

Atendimento ao critério de desempenho 1 (100 lux em 55% do espaço e 50% das horas diurnas anuais) e do critério de desempenho 2 (100 lux em 70% do espaço e 70% das horas diurnas anuais)

Todos os modelos simulados para o ambiente “cozinha conjugada com área de serviço” alcançaram tanto o critério de desempenho 1 quanto o critério de desempenho 2.

Identificação das obstruções que provocaram piores desempenhos da luz natural

A variação de modelo que apresentou o pior desempenho em comparação aos outros foi o que combinou as variáveis “prisma 2 (5m x 10m) + edifício1 (10 andares a 10 metros de distância)”.

Apenas as variações “prisma 1 + edifício 2” (para orientações Norte, Sul e Oeste), “prisma 1 + edifício 2” (orientações Norte e Oeste), “prisma 2 + edifício 2” (orientação Oeste) e “prisma 1 + edifício 3” (orientação Oeste) apresentaram uma pequena parcela de sua área com autonomia de luz natural na faixa de 69 a 50% das horas diurnas. Para todas as outras variações e orientações a autonomia de luz natural ficou na faixa de 100 a 70% das horas diurnas.

Identificação do desempenho por orientação

Quando os modelos sem obstrução causada por edifícios vizinhos foram analisados, identificou-se que a orientação Oeste foi a que apresentou os melhores desempenhos, seguido da orientação Norte, enquanto a orientação Sul foi a que apresentou o pior desempenho. Já quando se analisou os ambientes com edifícios vizinhos, a orientação Oeste passou a apresentar o pior desempenho, e as orientações Norte e Sul passaram a apresentar os melhores desempenhos, sendo muito similares entre si.

3.6. Resultados das simulações dos modelos para o ambiente “cozinha conjugada com área de serviço com divisória”

A tabela 20 apresenta os resultados para os modelos da cozinha com área de serviço e divisória entre elas.

Tabela 20: Resultados das simulações para os modelos de cozinha + área de serviço com divisória – abertura de 1/8 da área de piso

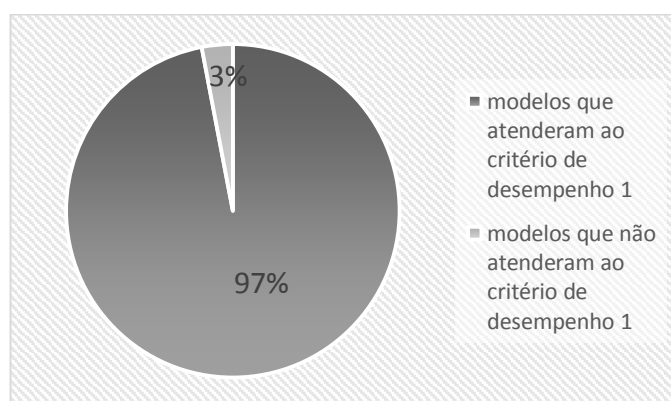
	Modelos simulados para cozinha + área de serviço (com divisória)	Faixas de autonomia nas horas diurnas	Autonomia espacial (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura=1,125m Altura =1m (1/8 do piso)	Sem obstrução	Abaixo de 50%	1	9	6	0
		69 a 50%	6	15	11	8
		100 a 70%	93	76	83	92
	Prisma 1	Abaixo de 50%	21	42	38	28
		69 a 50%	9	6	8	8
		100 a 70%	70	52	54	64
	Prisma 2	Abaixo de 50%	22	25	24	24
		69 a 50%	12	10	17	15
		100 a 70%	70	65	59	61
	Prisma 3	Abaixo de 50%	16	36	31	31
		69 a 50%	5	11	10	8
		100 a 70%	79	53	59	61
	Edifício 1	Abaixo de 50%	26	24	22	25
		69 a 50%	11	6	11	11
		100 a 70%	63	70	67	64
	Edifício 2	Abaixo de 50%	18	25	25	26
		69 a 50%	8	11	9	7
		100 a 70%	74	64	66	67
	Edifício 3	Abaixo de 50%	24	27	37	34
		69 a 50%	6	13	11	6
		100 a 70%	70	60	52	60
	Prisma 1 + Edifício 1	Abaixo de 50%	34	45	41	46
		69 a 50%	8	7	9	8
		100 a 70%	58	50	50	50
	Prisma 2 + Edifício 1	Abaixo de 50%	9	35	19	36
		69 a 50%	9	8	14	8
		100 a 70%	82	57	67	56
	Prisma 3 + Edifício 1	Abaixo de 50%	16	41	22	42
		69 a 50%	9	9	16	8
		100 a 70%	75	50	62	50
	Prisma 1 + Edifício 2	Abaixo de 50%	34	40	42	38
		69 a 50%	10	5	8	8
		100 a 70%	56	55	50	54
	Prisma 2 + Edifício 2	Abaixo de 50%	6	3	9	39
		69 a 50%	8	12	12	9
		100 a 70%	86	54	79	52
	Prisma 3 + Edifício 2	Abaixo de 50%	19	42	25	39
		69 a 50%	13	8	13	10
		100 a 70%	68	50	62	51
	Prisma 1 + Edifício 3	Abaixo de 50%	41	46	47	43
		69 a 50%	8	6	6	7
		100 a 70%	51	48	47	50
Prisma 2 + Edifício 3	Abaixo de 50%	24	39	39	40	
	69 a 50%	13	9	8	10	
	100 a 70%	63	52	53	50	
Prisma 3 + Edifício 3	Abaixo de 50%	36	43	31	45	
	69 a 50%	8	7	11	5	
	100 a 70%	56	50	58	50	

Atendimento ao critério de desempenho 1 (100 lux em 55% do espaço e 50% das horas diurnas anuais)

Para os modelos simulados para o ambiente “cozinha conjugada com área de serviço com divisória”, somente 2 (duas) variações, ou 3% dos modelos, não alcançaram o critério de desempenho 1 (100 lux em 50% do espaço e 70% das horas diurnas anuais) considerando aberturas com dimensão equivalentes a 1/8 da área de piso do ambiente:

- a) Cozinha conjugada com área de serviço com prisma 1 + obstrução causada por edifício vizinho 3 (orientações Sul e Leste);

Gráfico 5: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 1 de iluminação natural para cozinha conjugada com área de serviço com divisória



Esses dois modelos foram simulados novamente, com dimensões de aberturas equivalentes a 1/6 da área de piso do ambiente. Nesta situação, esses dois modelos passaram a atender à exigência mínima, conforme demonstra a Tabela 21.

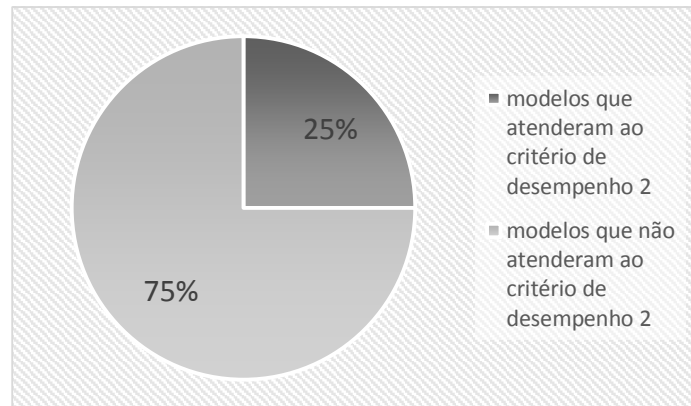
Tabela 21: Resultados das simulações para os modelos de cozinha com área de serviço e divisória para aqueles que não atenderam o critério mínimo de desempenho - abertura de 1/6 da área de piso

Dimensões das aberturas	Modelos simulados para cozinha + área de serviço (com divisória)	Intervalo de autonomia nas horas diurnas (100 lux)	Autonomia na área do ambiente (%)			
			NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Largura=1,5m Altura =1m (1/6 do piso)	Prisma 1 + Edifício 3	Abaixo de 50%	-	37	42	-
		69 a 50%	-	6	4	-
		100 a 70%	-	57	54	-

Atendimento ao critério de desempenho 2 (100 lux em 70% do espaço e 70% das horas diurnas anuais)

Considerando o critério de desempenho 2 para avaliação (100 lux em 70% do tempo e 70% do espaço), 48 (quarenta e oito) variações de um total de 64 (sessenta e quatro) não atenderiam à esse critério, ou seja, 75% do total dos modelos.

Gráfico 6: Percentual de atendimento ao critério de desempenho 2 para cozinha conjugada com área de serviço com divisória - critério mais rigoroso



Identificação das obstruções que provocaram piores desempenhos da luz natural

A variação de modelo que apresentou o pior desempenho em comparação aos outros foi o que combinou as variáveis “prisma 1 (1,5m x 3m) + edifício 3 (10 andares a 5m de distância)”.

Identificação do desempenho por orientação

Para o caso desse ambiente, a orientação Norte foi a que apresentou o melhor desempenho, tanto quando eram consideradas obstruções causadas por edifícios vizinhos ou não. Da mesma forma, a orientação Sul foi a que apresentou os piores desempenhos, independentemente da situação de obstrução.

4. CONCLUSÕES

Após a discussão dos resultados, foi possível traçar algumas conclusões a respeito dos principais aspectos desta pesquisa:

4.1 Desempenho com relação ao tipo de ambiente e de obstrução

Observa-se que os ambientes “sala” e “quarto” apresentaram resultados muito semelhantes, assim como os resultados para “cozinha” foram bastante semelhantes aos da “área de serviço”, em função das dimensões similares: a sala possui dimensões 2,85m x 4,25m e quarto dimensões 2,4m x 4,2m; a cozinha possui dimensões 1,8m x 2,8m enquanto a área de serviço possui 1,5m x 2,67.

Tanto para sala quanto para quarto, os seguintes modelos atenderam ao critério de desempenho 2: modelo sem obstrução, com prismas (1, 2 ou 3), com saliência, com varanda e com obstrução causada por edifício vizinho (1, 2 ou 3). Ou seja, todas as obstruções consideradas neste trabalho, quando analisadas isoladamente (sem combinação entre elas) atenderam ao critério de desempenho 2 (mais rigoroso). Além disto, quando se combinaram os prismas (1, 2 ou 3) com Edifícios (1, 2 ou 3) e varanda com Edifícios (1, 2 ou 3) o critério de desempenho 2 também foi atendido.

As situações onde se verificou o não atendimento ao critério de desempenho 1 foram:

- combinação entre saliência + edifícios 1, 2 e 3 (para sala e quarto)
- combinação entre varanda + prismas 2 + edifício 1 (para sala)
- combinação entre varanda + prisma 2 + edifício 2 (para sala)
- combinação entre varanda + prisma 2 + edifício 3 (para sala)
- combinação entre varanda + prisma 3 + edifício 1 (para sala e quarto)
- combinação entre varanda + prisma 3 + edifício 2 (para sala e quarto)
- combinação entre varanda + prisma 3 + edifício 3 (para sala e quarto)

As combinações para sala e quarto que resultaram nos piores desempenhos foram “saliência + edifícios” e “varanda + prisma 3 + edifícios”.

A saliência no interior do cômodo representa uma grande barreira à luz natural, impedindo que a luz chegue de forma eficiente a todo espaço. Portanto, quando um

ambiente que possui saliência está voltado para uma situação urbana com obstrução externa, existem grandes chances de o desempenho da luz natural no interior desse ambiente ser insuficiente, quando se considera aberturas laterais equivalentes a 1/8 da área de piso.

Foi possível concluir que as condições mais desfavoráveis para o desempenho da luz natural incluíram obstruções causadas pelo entorno construído, ou seja, por edifícios vizinhos. Nesse sentido, destaca-se a importância de se considerar esse tipo de variável em todas as situações onde se esteja avaliando o desempenho da luz natural no interior dos ambientes.

Para o caso da cozinha e da área de serviço, todos os modelos atenderam ao critério de desempenho 2 (mais rigoroso) sem dificuldade, pois para esses ambientes não foram consideradas as obstruções varanda e saliência.

No caso do ambiente “cozinha conjugada com área de serviço com divisória” a divisória bloqueia parte da passagem da luz natural provida pela janela da área de serviço para a área destinada à cozinha. Essa conformação de ambiente é bastante representativa em edifícios residenciais multifamiliares, e merece atenção. Neste caso, embora somente o modelo com “prisma 1 + edifício 3” tenha prejudicado o cumprimento do critério de desempenho 1, praticamente em todos os casos os modelos não alcançaram o critério de desempenho 2. Isto quer dizer que obstruções internas aos ambientes, como o caso de divisórias e saliências, também devem ser consideradas ao se tentar estimar o desempenho da iluminação natural em ambientes residenciais.

4.2 Aspectos relacionados ao dimensionamento das aberturas

Quanto à questão do dimensionamento de aberturas para o contexto do Distrito Federal, principal objetivo deste trabalho, foi possível concluir que a proporção mínima atualmente exigida pelo COE-DF, equivalente a 1/8 da área de piso dos ambientes, atende aos critérios de desempenho propostos (tanto ao critério 1 ao 2) quando os ambientes se encontram em situações de pouca ou nenhuma obstrução. Aqui, entende-se por pouca obstrução as variáveis “prismas”, “saliência”, “varanda”, “edifícios” ou “prismas + edifícios”.

Entretanto, conforme a condição de obstrução se torna mais complexa, ou seja, nos casos de combinação entre “saliência + edifícios”, “varandas + edifícios” e “prismas + varandas + edifícios”, se verificou em alguns casos a proporção de 1/8 da área de piso para aberturas passa a não permitir o atendimento ao critério de desempenho 1. Isto quer dizer que deve ser possível considerar novas proporções (principalmente 1/6 área de piso) para aberturas laterais de ambientes em contextos de obstrução externa causada por edifícios vizinhos.

Grande parte dos cômodos com saliência não atenderam ao critério de desempenho 1, quando simulados com aberturas laterais equivalentes a 1/8 da área de piso. Entretanto, foi observado que considerando abertura lateral equivalente a 1/6 da área de piso, em todos os caso o critério de desempenho 1 foi atendido.

Mesmo com aberturas equivalentes a 1/6 da área de piso, os ambientes com saliência e obstrução causada por edifícios vizinhos não atendem ao critério mais rigoroso de desempenho (critério de desempenho 2).

Os modelos que consideraram “varanda + prisma 3 + edifícios” tiveram de ser simulados para aberturas laterais equivalentes a 1/5 ou 1/4 da área de piso do ambiente para que os mesmos passassem a atender ao critério de desempenho 1.

Porém, apesar de a proporção para as aberturas equivalentes a 1/4 da área de piso atender à exigência mínima de iluminação, ela poderá penalizar a eficiência energética do ambiente, uma vez que aumenta a área envidraçada.

4.3 Desempenho com relação à orientação

Na ausência de obstruções causadas por edifícios vizinhos, a orientação Oeste foi a que apresentou o melhor desempenho, em função da radiação direta incidente no interior do ambiente durante o período da tarde. A orientação Leste foi a que a apresentou o pior desempenho, devido ao horário de simulação adotado (8 às 18) que acarretou a desconsideração das primeiras horas de luz na manhã. Em seguida, a orientação Sul foi a que apresentou o pior desempenho.

Quando os ambientes possuíam obstrução causada por edifícios vizinhos, a orientação Oeste passou a apresentar o pior desempenho, por causa do bloqueio da radiação direta

incidente no período da tarde. A orientação Leste passou a ter o melhor desempenho, provavelmente por influência do horário considerado nas simulações. A orientação Norte foi a que apresentou o segundo melhor desempenho, provavelmente por conta do percurso solar mais alto nesta orientação.

Para cozinha e área de serviço, nas situações onde não havia obstruções causadas por edifícios vizinhos, ou seja, nos modelos sem obstrução, com prisma 1, prisma 2 e prisma 3, as orientações Sul foi a mais prejudicada do ponto de vista do desempenho da luz natural, provavelmente por conta da predominância da luz difusa em detrimento da luz solar direta nesta orientação, e a orientação Oeste foi a que apresentou melhor desempenho.

Já quando as obstruções causadas por edifícios vizinhos foram consideradas, na grande maioria dos casos, a orientação Oeste passou a ter o pior desempenho, por conta do bloqueio da radiação direta incidente, e as orientações Norte e Sul passaram a apresentar o melhor desempenho, sendo bastante similares entre si.

Para o caso de “cozinha conjugada com área de serviço com divisória”, a orientação Norte foi a que apresentou o melhor desempenho, tanto quando eram consideradas obstruções causadas por edifícios vizinhos ou não. Isto pode ser explicado por conta do percurso solar mais alto nesta orientação. Neste caso, a orientação Sul foi a que apresentou os piores desempenhos, independentemente da situação de obstrução.

4.4 Aspectos relacionados aos critérios de desempenho estipulados

Foi observado que sob condições de pouca ou nenhuma obstrução à luz natural, os ambientes, que estão de acordo com as exigências do COE-DF, atendem ao critério de desempenho 2, ou seja, 100 lux em 70% das horas diurnas e em 70% do espaço (exigência maior que a presente no RTQ-R), isto levando em conta dimensões de aberturas equivalentes a 1/8 da área de piso dos ambientes. Entretanto, quando na presença de obstruções mais complexas (“prismas + edifícios”; “varanda + edifícios” e “saliência + edifícios”), o critério de 100 lux em 70% das horas diurnas e em 50% do espaço pode ser mais adequado como critério, pois, muitos dos modelos continuam atendendo a este desempenho mínimo sem para isto ser necessário redimensionar as aberturas.

Portanto, conclui-se que o critério a ser adotado como mínimo para o desempenho da luz natural em um ambiente residencial pode variar levando em conta a condição de obstrução que tal ambiente está inserido.

O COE-DF permite a combinação de variáveis que acarretam graves obstruções à luz natural no interior dos ambientes; ao mesmo tempo, é difícil predeterminar sob quais situações o nível mínimos de iluminação natural não será alcançado, pois as variações que podem ocorrer na arquitetura de um edifício não são previsíveis.

Por esta razão, uma das considerações que podem ser feitas ao final deste trabalho é que parece ser mais eficiente exigir um determinado desempenho mínimo da luz natural que pensar em aumento na proporção de aberturas ou em limitar determinadas variáveis arquitetônicas por receio de prejuízo no desempenho da luz natural.

Porém, também em função dos resultados alcançados nesta pesquisa, nota-se que o índice de iluminância para atendimento à norma (mínimo de 60 lux) poderia ser aumentado para 100 lux, já que, como demonstrado, a maioria dos ambientes aqui considerados alcançaram esse nível sem dificuldade.

De qualquer forma, seria desejável que o COE-DF incorporasse a consideração do entorno construído, exigindo, por exemplo, aberturas equivalentes a 1/6 de área de piso para ambientes com obstruções à luz natural (como varandas, prismas ou saliências) quando submetidos a entorno obstruído por edifícios vizinhos.

Esta mesma previsão de ajuste de proporção de aberturas laterais para iluminação em condições de obstruções externas poderiam ser aproveitadas para o RTQ-R, uma vez que a exigência nos pré-requisitos estipula somente o mínimo de 12,5% de área de abertura em função da área de piso (ou seja, os mesmos 1/8 que o COE-DF exige) para qualquer situação.

Portanto, o RTQ-R poderia adotar exigência mínima de abertura lateral para iluminação equivalente a 1/6, para cálculo prescritivo, no caso de se identificar situações como as descritas anteriormente (como varandas, prismas ou saliências combinadas à obstrução por edifícios vizinhos).

Da mesma forma, foi possível concluir que as exigências presentes no RTQ-R para pontuação nas bonificações relativas à luz natural poderiam ser mais rígidas, já que os critérios exigidos por eles facilmente são alcançados.

Propõe-se que para o RTQ-R fosse adotado o critério de 100 lux em 70% do espaço e 70% das horas diurnas, tanto para ambientes sem proteção solar quanto para os com proteção solar, garantindo maior nível de iluminância durante maior parte das horas diurnas do ano.

4.5 Comparação dos resultados com trabalhos anteriores

Os resultados alcançados neste trabalho foram comparados àqueles realizados por Buson (1998), Amaral e Pereira (1999) e Albuquerque e Amorim (2012).

A pesquisa de Buson (1998) concluiu que a proporção indicada para aberturas dos ambientes no Código de Obras e Edificações do Distrito Federal (1/8 da área de piso) é suficiente para iluminação mínima dos ambientes (100 lux) quando não existem obstruções externas de nenhuma espécie, mesma conclusão a que este trabalho chegou por meio das simulações computacionais. No entanto, Buson (1998) identificou que alguns cômodos não apresentam índices de iluminação natural satisfatórios quando na presença de obstruções externas. Isto não foi confirmado nos resultados do presente trabalho, uma vez que a grande maioria dos ambientes alcançou tanto o nível mínimo quanto o nível mais rigoroso de desempenho da iluminação natural, mesmo sob condições de obstruções causadas por edifícios vizinhos.

O estudo realizado por Amaral e Pereira (1999), também com foco nos níveis de iluminação natural em ambientes na cidade de Florianópolis, a partir das dimensões mínimas presentes no Código de Obra e Edificações da cidade por meio de simulação estática, permitiram concluir que nos ambientes residenciais avaliados sem obstrução foram encontrados níveis de iluminância excessiva em todos os casos (níveis acima de 195 lux, critério determinado pelos autores). Apesar do presente trabalho não ter avaliado níveis excessivos de iluminância, concentrando-se apenas nos níveis mínimos (100 lux), é provável que esta conclusão de Amaral e Pereira esteja alinhada com os

resultados desta pesquisa, uma vez que para os ambientes sem obstrução a iluminância mínima foi alcançada com muita facilidade.

A diferença encontrada nos resultados de Buson e de Amaral e Pereira com os resultados alcançados neste trabalho provavelmente se deram em função do método de avaliação da luz natural. Buson utilizou um método de cálculo manual, enquanto Amaral e Pereira utilizaram simulação estática. O uso de simulação computacional baseada no método CBDM permite uma avaliação mais precisa do comportamento da luz natural, certamente gerando resultados diferentes de outros métodos.

Esta pesquisa não foi comparada ao trabalho de Bracarense et al (2005), citado no referencial teórico, porque no caso do presente trabalho o desempenho da luz natural não foi analisado em função das variações nas refletâncias das superfícies internas.

Albuquerque e Amorim (2012) verificaram duas situações diferentes para o atendimento mínimo de 60 lux (para ambientes sem proteção solar e com área de abertura de 1/6 e altura de janela a 2,27m). Quando estes ambientes apresentavam profundidade limite de até 1,8 vezes a altura da janela, pôde-se obter 60 lux em 70% das horas de um ano em toda a área do ambiente, ou quando os ambientes apresentavam profundidade limite de 2,57 vezes a altura da janela, a obtenção dos 60 lux se dava em 70% das horas diurnas em 70% do espaço.

No presente trabalho, os ambiente com obstruções à luz natural analisados (varandas e prismas analisados isoladamente) que se assemelham àqueles propostos por Albuquerque e Amorim com proteções solares (beirais, proteções verticais e varandas) alcançaram iluminância de 100 lux em de 100 a 70% do tempo e em toda sua área.

4.6 Limitações do trabalho

Uma das principais limitações deste trabalho se deu em razão da dificuldade em se determinar alguns poucos modelos de ambientes residenciais que pudessem traduzir diversas situações possíveis no contexto dos edifícios do Distrito Federal.

Portanto, uma primeira limitação foi a quantidade de modelos de ambientes que foram consideradas, que poderia ser maior, avaliando por exemplo, variações nas refletâncias, no pé-direito e até mesmo nas aberturas (variações de formato e posição).

A dimensão dos ambientes pode ser considerada como uma limitação do trabalho, pois, uma vez que se utilizaram as dimensões mínimas presentes no COE-DF, ou seja, ambientes de dimensões reduzidas, o desempenho da luz natural no interior dos mesmos fica favorecido, pois o alcance da luz natural se torna mais fácil tanto em sua profundidade quanto em sua largura.

Da mesma forma, somente alguns tipos de obstruções foram consideradas, mas certamente outras poderiam ser incluídas, como outras opções de obstrução causadas pelo próprio edifício ou outras condições de obstrução causadas pelo entorno construído, colaborando para resultados mais consistentes.

Por último, esta pesquisa manteve foco na avaliação do mínimo de iluminância (Autonomia de Luz Natural – DA), não considerando sob quais situações os ambientes estariam expostos a níveis máximos aceitáveis, o que também poderia ser avaliado em um segundo momento (Autonomia de Luz Natural Útil– UDI).

4.7 Sugestões para trabalhos futuros

- a) Ampliar o escopo desta pesquisa para outras cidades brasileiras, para comparação e verificação de resultados.
- b) Aplicar à esta metodologia outras possibilidades de variáveis arquitetônicas e obstruções à luz natural;
- c) Aplicar à esta metodologia variações nas dimensões mínimas dos ambientes, na profundidade e na posição das aberturas laterais;
- d) Realizar levantamento estatístico da presença dos ambientes mais típicos e das condições de entorno mais comuns para aplicação da mesma metodologia;
- e) Ampliar esta metodologia incluindo além dos níveis mínimos de iluminância, níveis máximos aceitáveis;
- f) Verificar as condições térmicas resultantes nas condições de iluminação natural favorável;

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 15215-1**. Iluminação natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1**. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008.

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

ALBUQUERQUE, M.S. AMORIM, C.N.D. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.12, n. 2, p 37-57, 2012.

AMARAL M.G.V. PEREIRA F.O.R. Iluminação natural: revisão da legislação construtiva de Florianópolis. In: I Encontro Latino-Americano e V Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. **Anais..** Fortaleza: ENCAC-ELACAC, 1999. CD-ROM.

AMORIM, C. N. D. **Diagrama morfológico Parte I – instrumento de análise de projeto ambiental com uso de luz natural**. Paranoá Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Número 3. Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UnB, Brasília, 2007.

_____. **Estruturação e Desenvolvimento de Pesquisas na área de Iluminação Natural para colaboração com a Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações**. Projeto de Pesquisa apresentado à Eletrobrás. Universidade de Brasília, 2010.

AMORIM, C.N.D. LAMOUNIER, G. **Iluminação natural em edifícios residenciais com aberturas laterais e poços de luz: análise de códigos de obras e avaliação por meio de simulação computacional**. Relatório Final de Pesquisa de Iniciação Científica. Universidade de Brasília, 2012.

BAKER, N. FANCHIOTTI, A. STEEMERS, K. **Daylighting in Architecture**: A European Reference Book. Bruxelas: James & James Editors, 1998.

BEZERRA, R. **A influência das proteções solares e aberturas na iluminação natural em edifícios: Estudos paramétricos com simulação computacional**. Relatório Final de Pesquisa de Iniciação Científica. Universidade de Brasília, 2011.

BOGO, A. J. **Método para avaliação da admissão de luz natural através de aberturas com elementos de controle solar**. Tese de doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

BRACARENSE, M.S.S. JOTA, P.R.S. ASSIS, E.S. **Projeto experimental de iluminação em sistemas laterais em condições de entorno construído**. In: IV Encontro Latino-Americano e VIII Encontro Nacional Sobre Conforto no Ambiente Construído, **Anais**. Maceió: ENCAC-ELACAC, 2005. CD-ROM.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas: 1961 – 1990**. Brasília, DF, 1992.

_____. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Portaria nº18 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ---R)**. Rio de Janeiro, 2012.

Disponível em: www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001627.pdf Acesso em: Agosto de 2013.

BUSON, M.A. **Porque minha janela tem 1m?** Análise e verificação dos índices técnicos do Código de Edificações do Distrito Federal relativos à iluminação natural. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 1998.

BUTERA, F. M. **Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia**. Milão: Edizioni Ambientale, 2004.

CASTRO, A.P.A.S.; LABAKI, L.C.; CARAM, R.M.; BASSO, A.; FERNANDES, M.R. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.3, n.2, p. 69-76, 2003.

CINTRA, M.S. **Arquitetura e luz natural: A influência da profundidade de ambientes em edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2011.

CUNHA, T. G. **Os códigos de obra: tradições e potencialidades**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

DIDONÉ, E. PEREIRA, F.O.R. O potencial da luz natural na economia de energia elétrica para a iluminação artificial. **Revista Tecnológica**, Edição Especial ENTECA, p. 24-34, 2009.

DISTRITO FEDERAL. Secretaria de Estado de Coordenação das Administrações Regionais do Distrito Federal. Lei nº 2,105/1998 e Decreto nº 19.915/1998, alterado pelo Decreto nº 25.856/2005. **Código de Edificações do Distrito Federal**. Brasília, 2005.

_____. Lei Complementar n.728 de 18 de agosto de 2006. Plano Diretor Local da Região Administrativa do Gama – RA II, 2006.

_____. Lei complementar nº 755, de 28 de janeiro de 2008. **Critérios para ocupação de área pública no Distrito Federal mediante concessão de direito real de uso e concessão de uso, para as utilizações que especifica**. Brasília, 2008.

DUBOIS, M.C. Integration of daylight quality in the design studio: from research to practice. In: XXIII Passive and Low Energy Architecture Conference, **Anais..** Genebra: PLEA, 2006.

EDWARDS, L. TORCELLINI P. **A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants**. Technical report. National Renewable Energy Laboratory, 2002.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **NOTA TÉCNICA DEA 16/12**. Avaliação da Eficiência Energética para os próximos 10 anos. Brasília, EPE, 2012.

European Standard - **EN 12464-1**: Light and lighting – Lighting of work places. Part 1: Indoor work places, 2009.

FARLEY, K. M. J., & VEITCH, J. A. **A room with a view: A review of the effects of windows on work and well-being**. Ottawa: NRC Institute for Research in Construction, 2001.

FERNANDES, J. T. **Código de Obras e Edificações e edificações do DF**: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2009.

FERREIRA, C. P. **Alguns Dados sobre o Clima para a Edificação em Brasília**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 1965.

FERREIRA, F. P. M. **Demanda Habitacional: Uma metodologia de acompanhamento e previsão para as Regiões Administrativas do Distrito Federal**. Encontro Associação Brasileira de Estudos Populacionais, *Anais..* Belo Horizonte: EABEP, 2006.

FREITAS, T.M. **A expansão urbana no Distrito Federal e a dinâmica do mercado imobiliário: o caso do Gama**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, 2013.

GREENUP, P. Bell, J. M. MOORE, I. The importance of interior daylight distribution in buildings on overall energy performance, **Renewable Energy**, v.22, pp. 45-52, 2001.

GROSSO, M. PERETTI, G. PIARDI, S. SCUDO, G. **Progettazione Ecocompatibile dell'Architettura**. Napoli: Esselibri, 2005.

HOPKINSON R.G. PETHERBRIDGE, P. & LONGMORE, J. **Iluminação Natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

IESNA - ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. **Lighting Handbook: Reference & Application**. 10^o ed. New York: IESNA, 2010.

_____. **Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)**. New York: IESNA, 2012.

LAM, W. M. C. **Perception and lighting as formgivers for architecture**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1977.

LOPES, V.C.V. **Comportamento térmico do Distrito Federal em situação sazonal de inverno em 2011**. Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel, pelo curso de Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, da Universidade de Brasília. Brasília, 2011.

MARDALJEVIC, J. **Daylight metrics and energy savings**. California: SAGE, 2011.

MARDALJEVIC, J. ANDERSEN, M. ROY, N. CHRISTOFFERSEN, J. Daylighting metrics for residential buildings. In: 27th Session of the CIE Sun City. *Anais..* South Africa: CIE, 2011.

MARDALJEVIC, J. CHRISTOFFERSEN, J. A Roadmap for upgrading national/EU standards for daylight in buildings. In: 28th Session of the CIE Sun City. *Anais..* Paris: CIE, 2013.

MARTAU B. T, SCARAZZATO P. S. 2009. **Impactos não visuais da iluminação**. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais..** Natal: ENTAC, 2009.

NABIL, A. & MARDALJEVIC, J. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. **Energy and Buildings**. v. 38, n. 7, pp. 905-913, 2006.

PALLADINO, P. **Manuale di Illuminazione**. Milão: Tecniche Nuove, 1999.

PAVIANI, A. **Brasília, capital da esperança ou ilha da fantasia?** Minha Cidade, São Paulo, 01.010, Vitruvius, mai 2001. Disponível em:

<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/01.010/2088> (acesso em 30 jan 2014)

PEREIRA, F. O. R. **Luz solar direta: tecnologia para melhoria do ambiente luminoso e economia de energia na edificação**. In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, **Anais..** Florianópolis: ANTAC, 1993. CD-ROM.

REINHART, C. F. A simulation-based review of the ubiquitous window-head-height to daylight zone depth rule-of-thumb. In: IX International Building Simulations Conference. **Anais..** Montreal: IBPSA, 2005.

REINHART, C. F. MARDALJEVIC, J. ROGERS, Z. Dynamic Daylight Performance metrics for sustainable building design. NRCC - 48669. 2006.

REINHART, C. F. **Tutorial on the Use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Harvard University Graduate School of Design, Cambridge, 2010.

USGBC – UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. Leadership in energy and environmental design. LEED for new construction and major renovations (LEED-NC). 2010.

VIANNA, N. S. GONÇALVES, J. C. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Geros, 2007.

SANTOS, S.D.P. **Sistemas Avançados de Iluminação Natural**: Estudo Comparativo de Vidros Prismáticos, Laser-Cut Panels e Channel Panels. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

SAXON R. **Atrium Buildings: Development and Design**. London: The Architectural Press, 1983.

SCHMID, A.L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

Autonomia de Luz Natural - *Daylight Autonomy (DA)* – porcentagem de horas ocupadas por ano em que um nível mínimo de iluminância mantido apenas com luz natural em um determinado ponto.

Autonomia espacial - *Spatial Autonomy (DA)* - parcela mínima da área do ambiente iluminada naturalmente com o intervalo de iluminâncias já determinado.

Autonomia de Luz Natural Útil - *Useful Daylight Autonomy (UDI)*: parâmetro que determina faixas de iluminâncias que indicam falta de luz, níveis úteis (adequados) de iluminância, ou faixa onde há o aumento da probabilidade de ocorrência de ofuscamento. As faixas de valores consideradas são: menor que 100 lux indicam falta de luz; Entre 100 e 2000 lux indica a faixa de níveis adequados de luminosidade; Maior que 2000 lux: faixa onde há o aumento da probabilidade de ocorrência de ofuscamento.

Daysim – software de Modelagem da Iluminação Natural Baseada no Clima (CBDM), que calcula os perfis de iluminância e de luminância anual e os apresenta em forma de métricas dinâmicas do desempenho da luz natural.

Fator de Luz do Dia - *Daylight Factor (DF)* – definido pela razão da iluminância interior em um determinado ponto de um ambiente interno pela iluminância horizontal de fora do edifício.

Modelagem de Luz Natural Baseada no Clima - calcula os perfis de iluminância e de luminância anual e os apresenta em forma de métricas dinâmicas do desempenho da luz natural. Fundamenta-se em dados de radiação solar anual para um local específico, oriundos de um arquivo climático, e são geradas por meio de simulação computacional.

Prismas - áreas abertas destinadas a aeração e iluminação de ambientes em edifícios multifamiliares. Possuem pelo menos uma de suas faces não delimitadas por paredes, muros ou divisa do lote.

Saliência - espaços mais estreitos nos ambientes, gerando uma espécie de “corredor”, através do qual este pode ser iluminado.

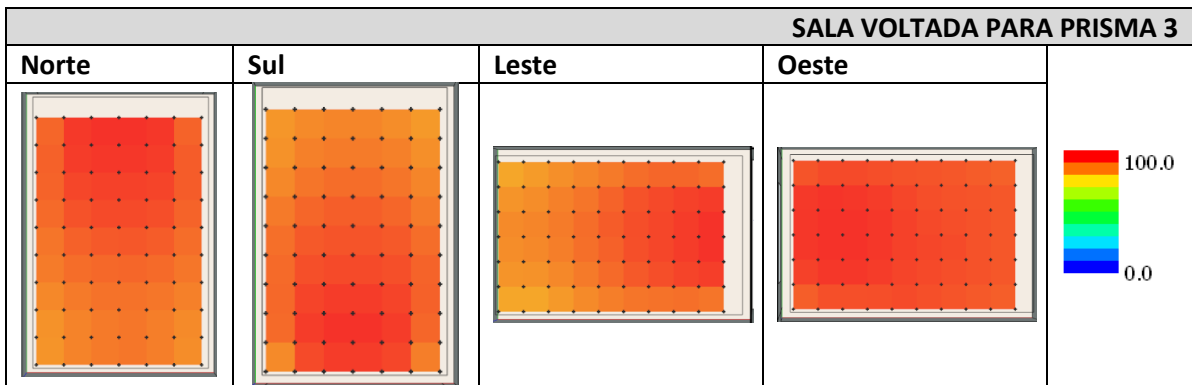
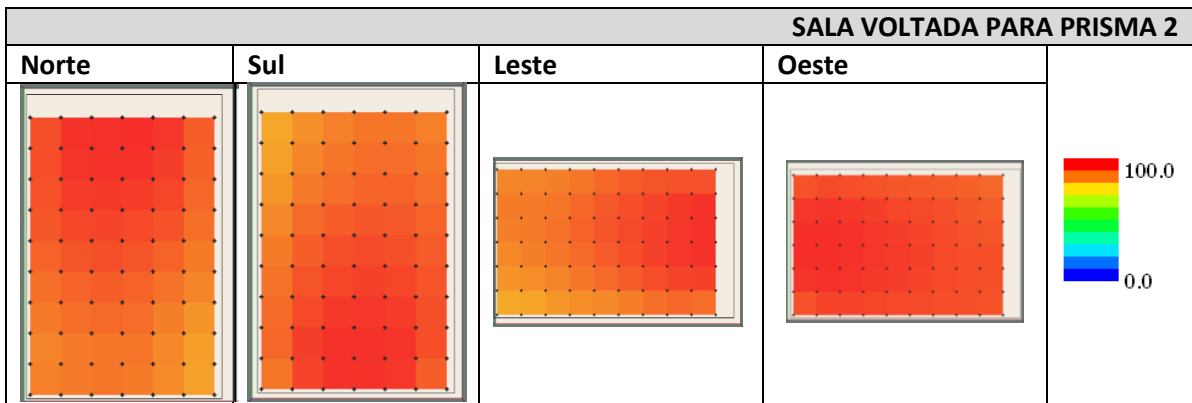
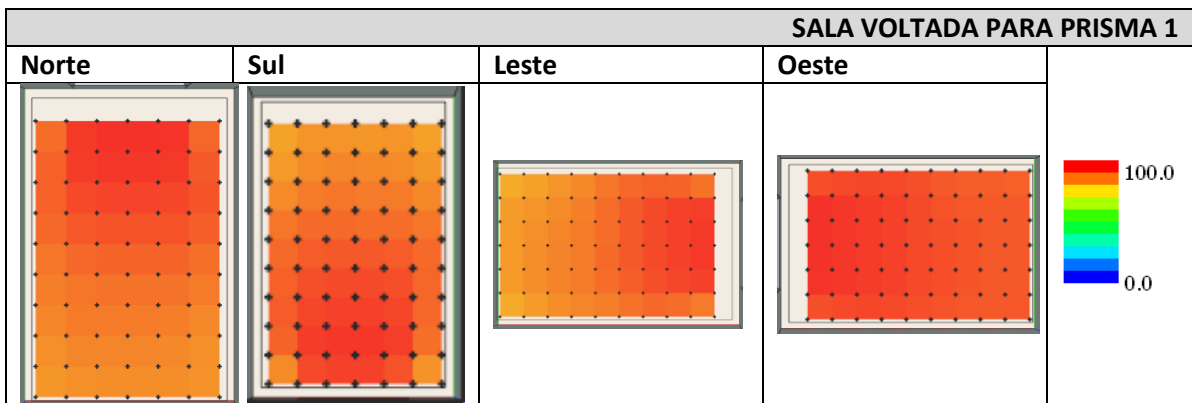
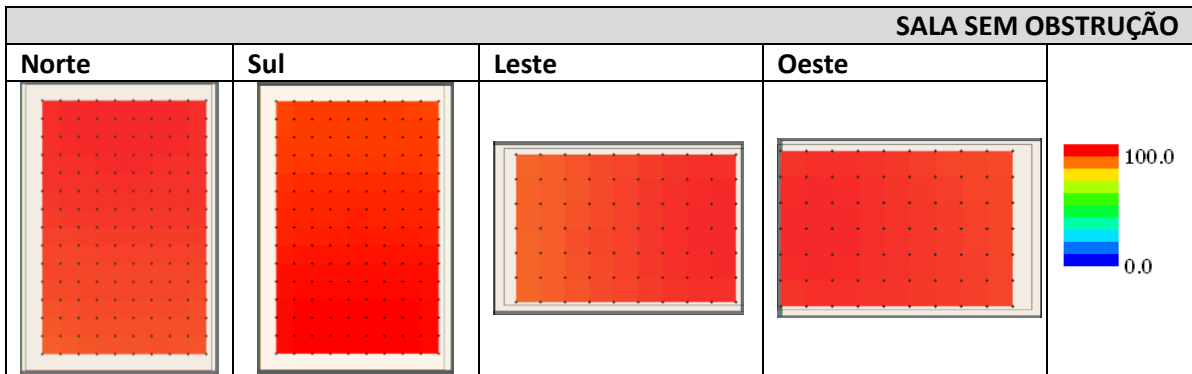
ANEXO 1

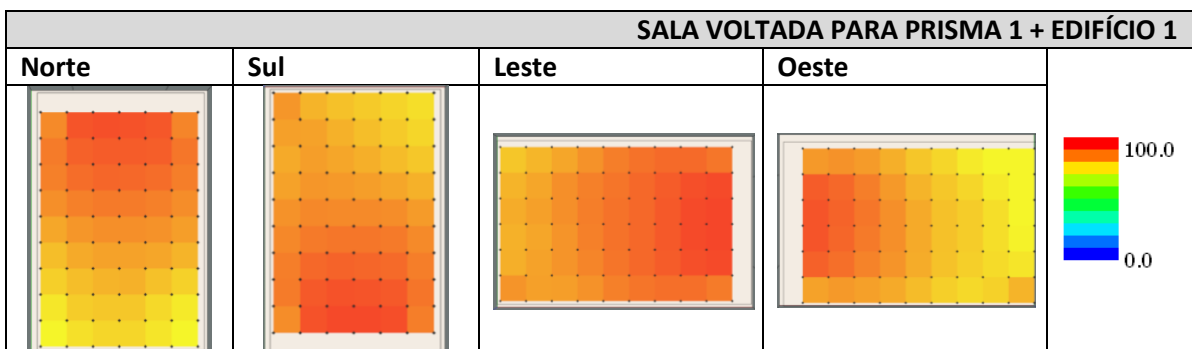
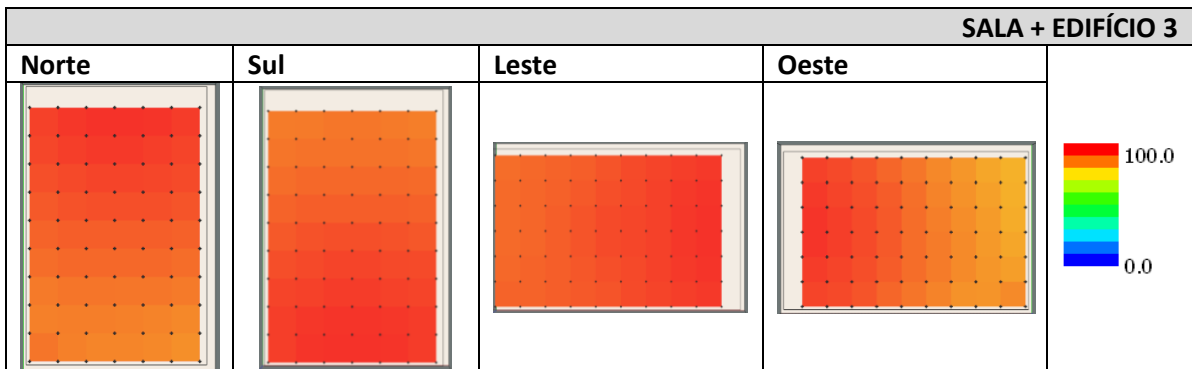
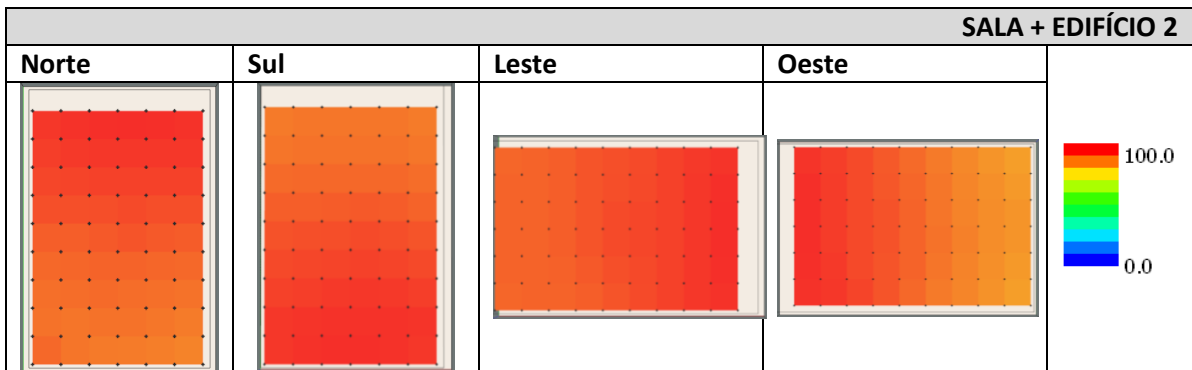
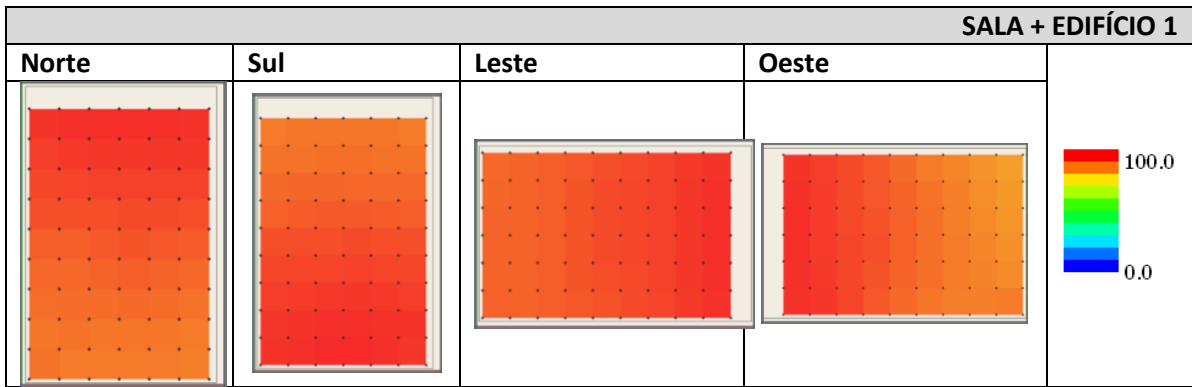
Resultados para SALA

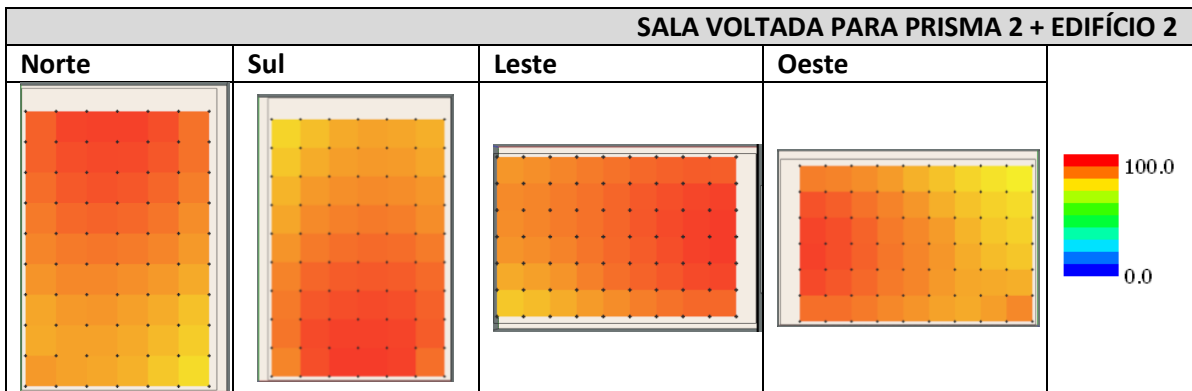
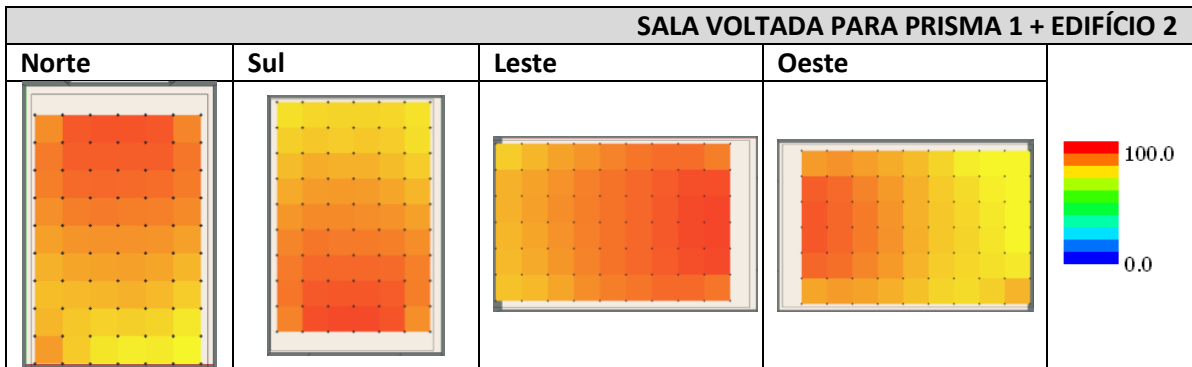
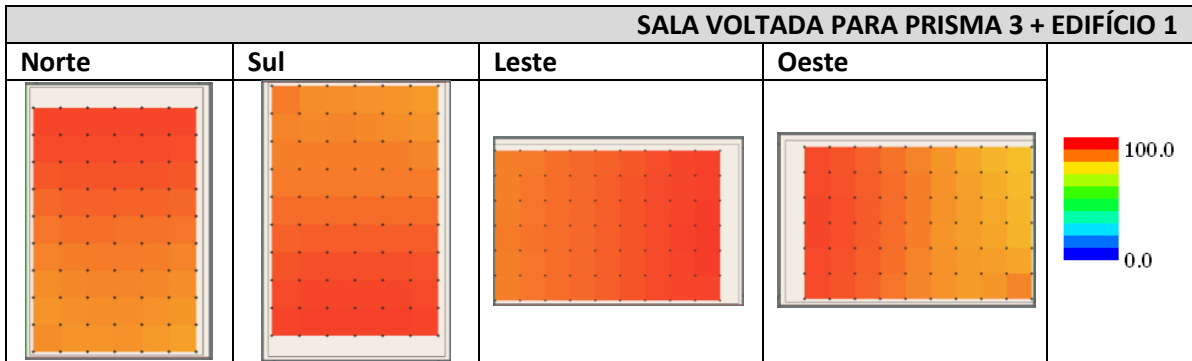
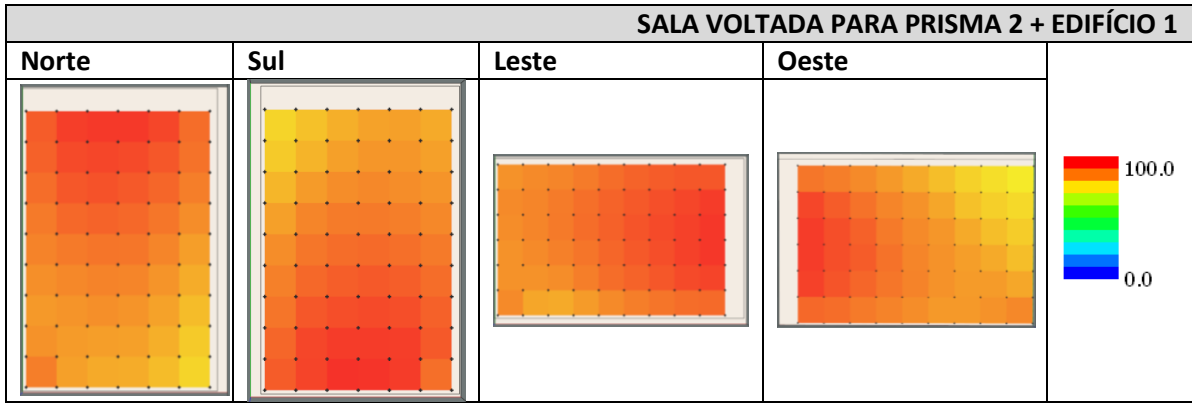
Imagens geradas pelas simulações

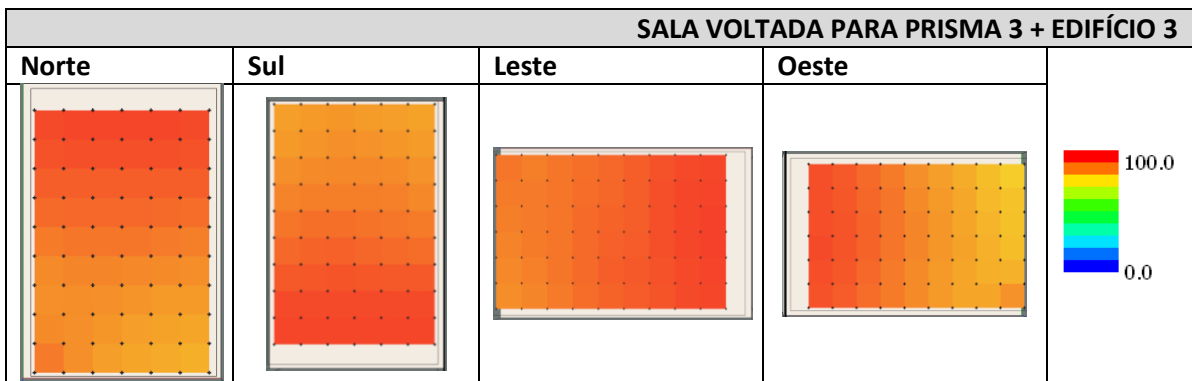
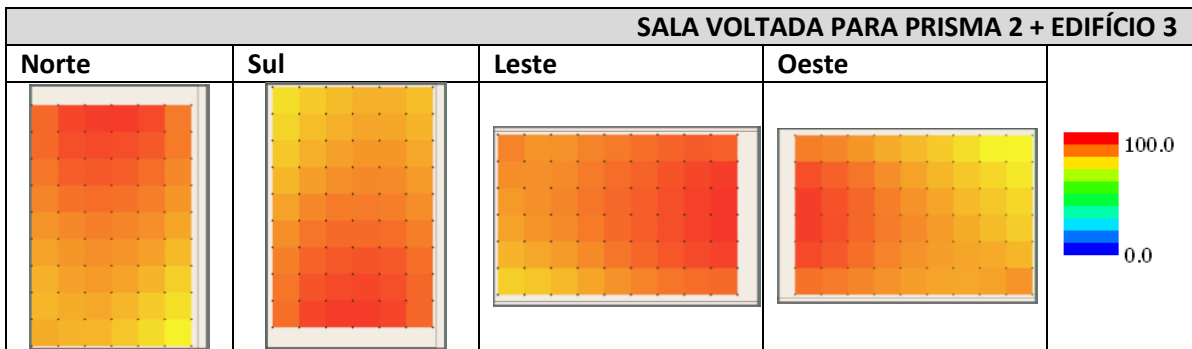
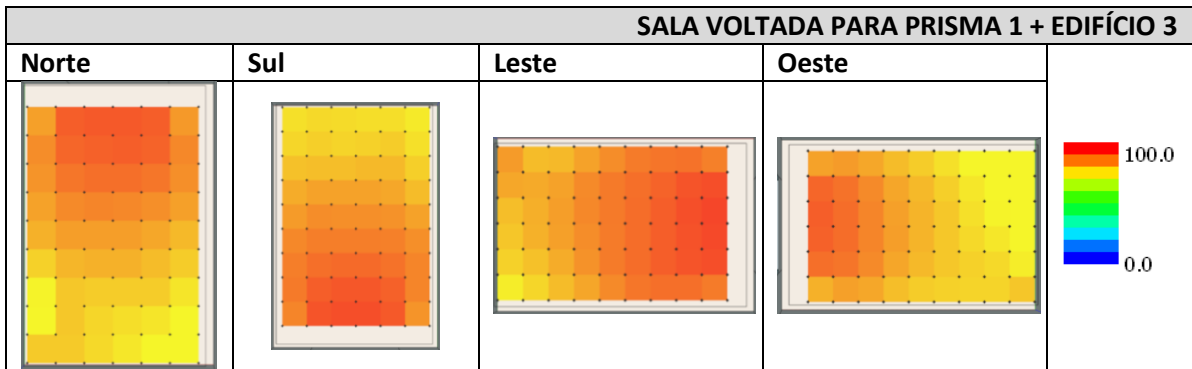
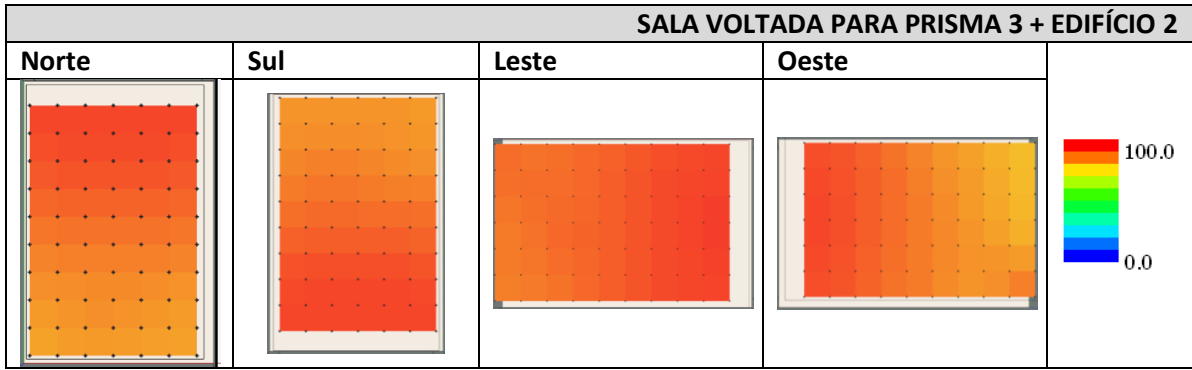
Autonomia de luz natural: 100lux

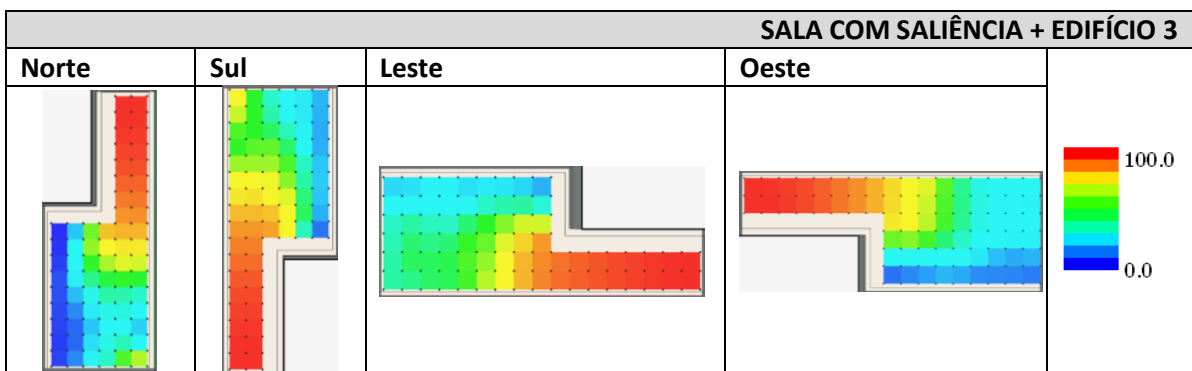
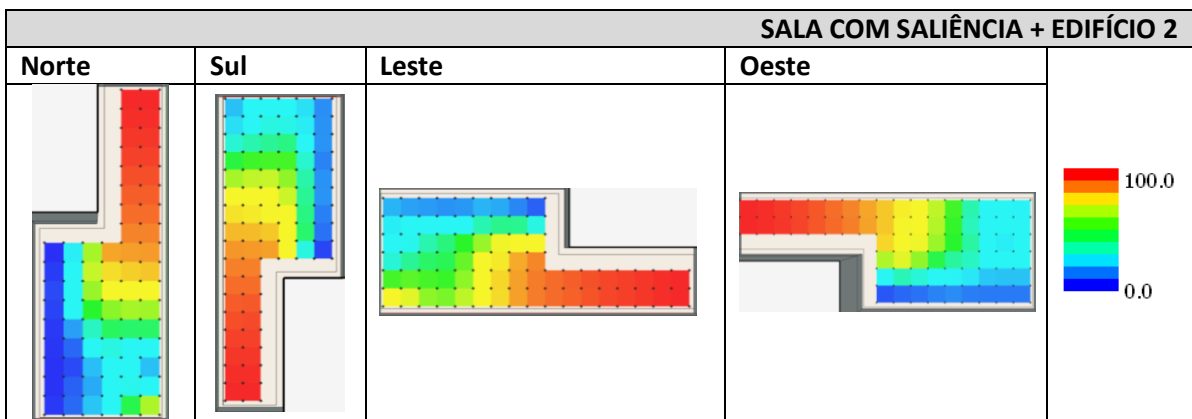
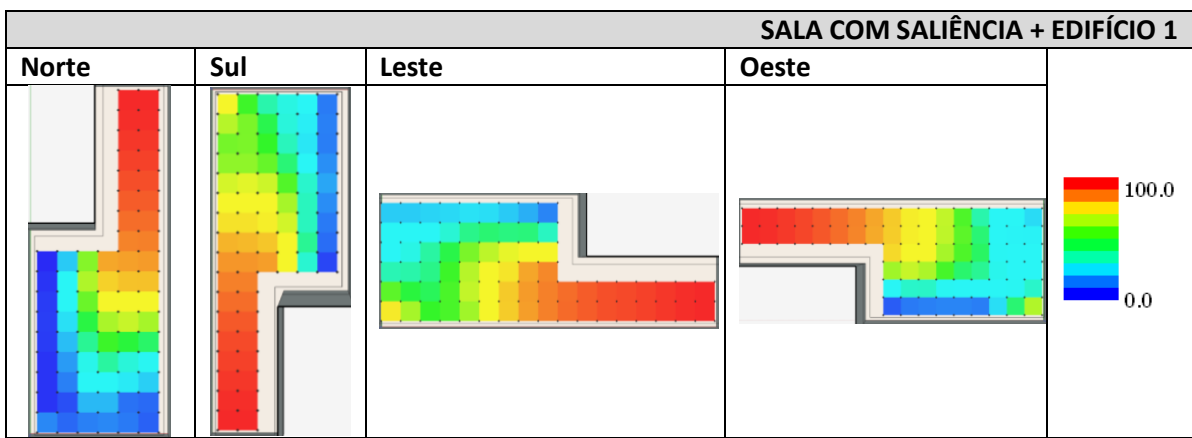
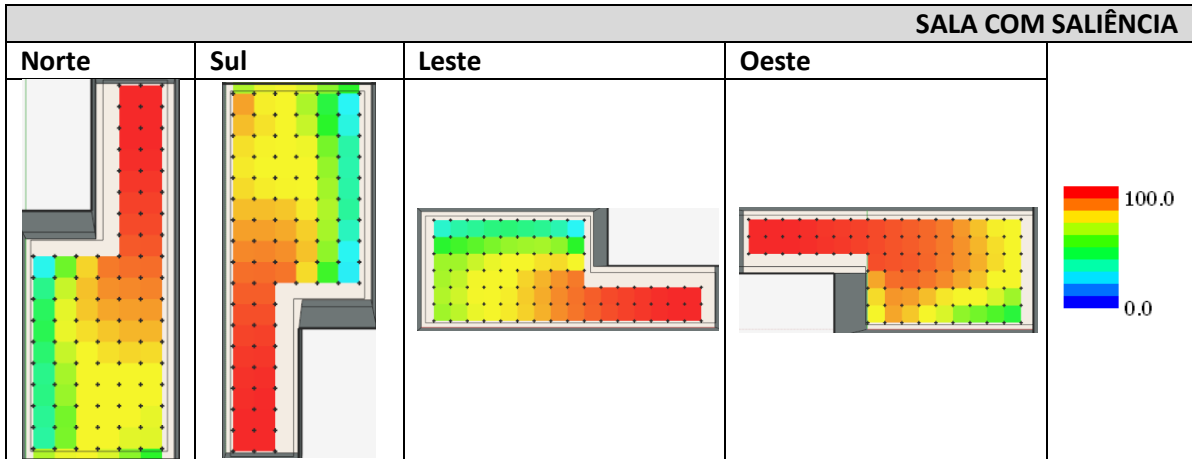
SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/8 DA ÁREA DE PISO

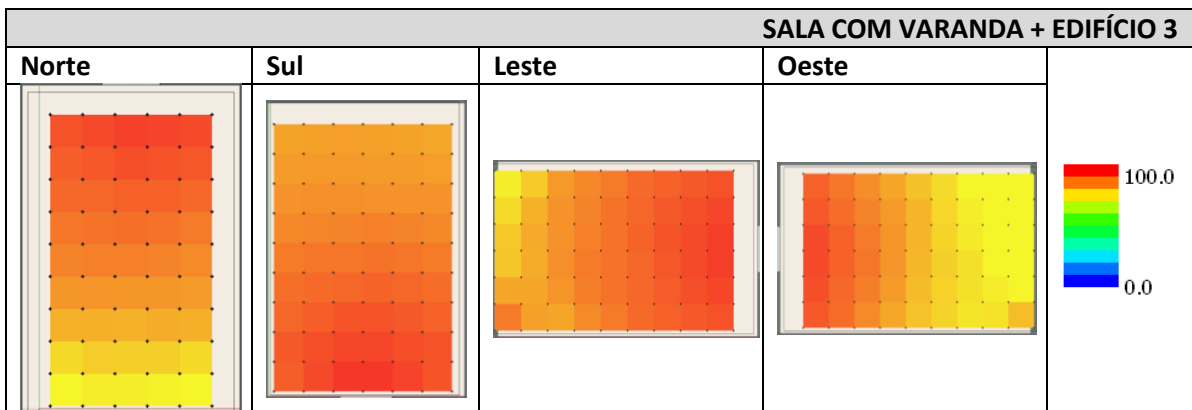
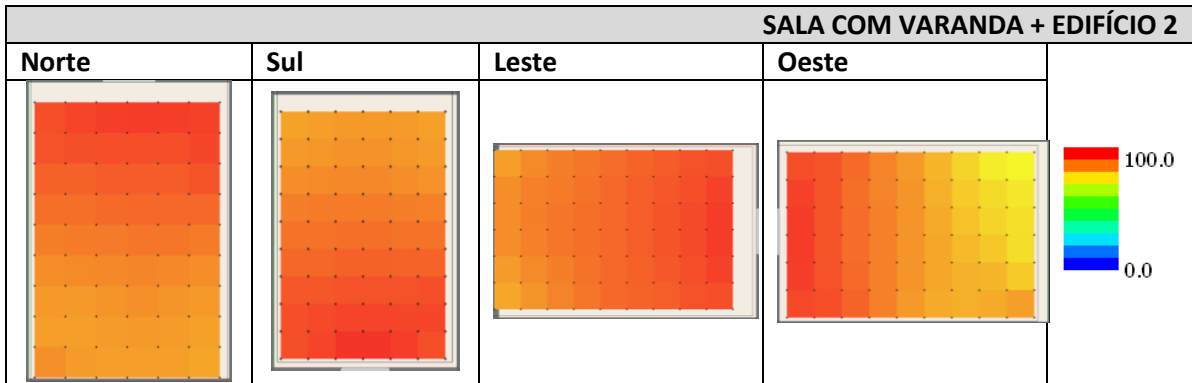
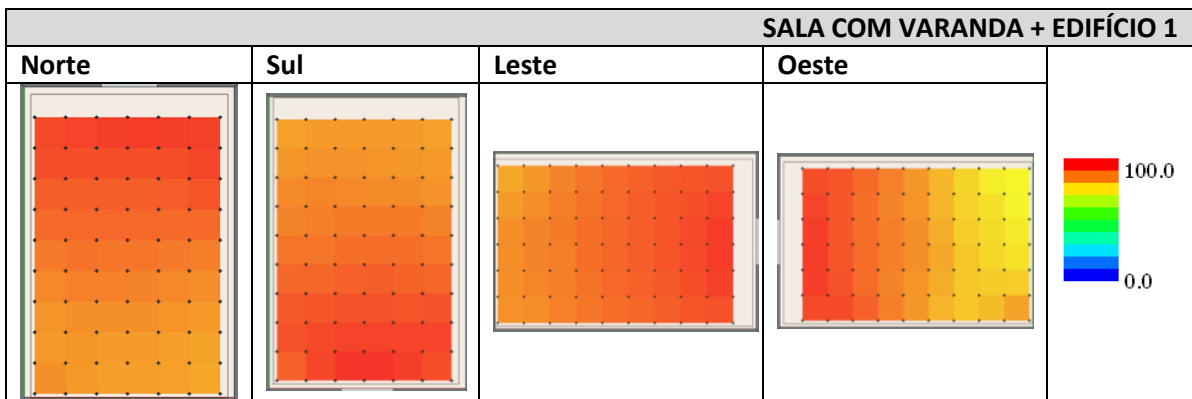
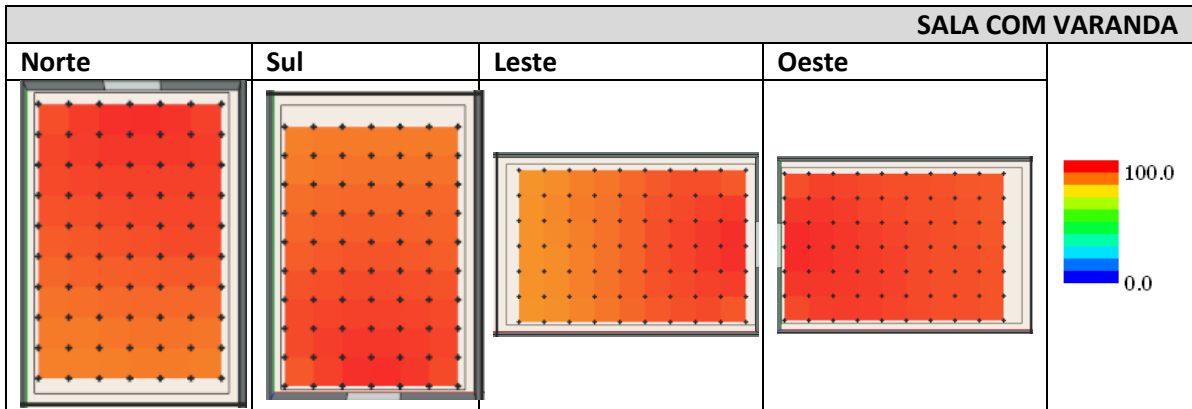


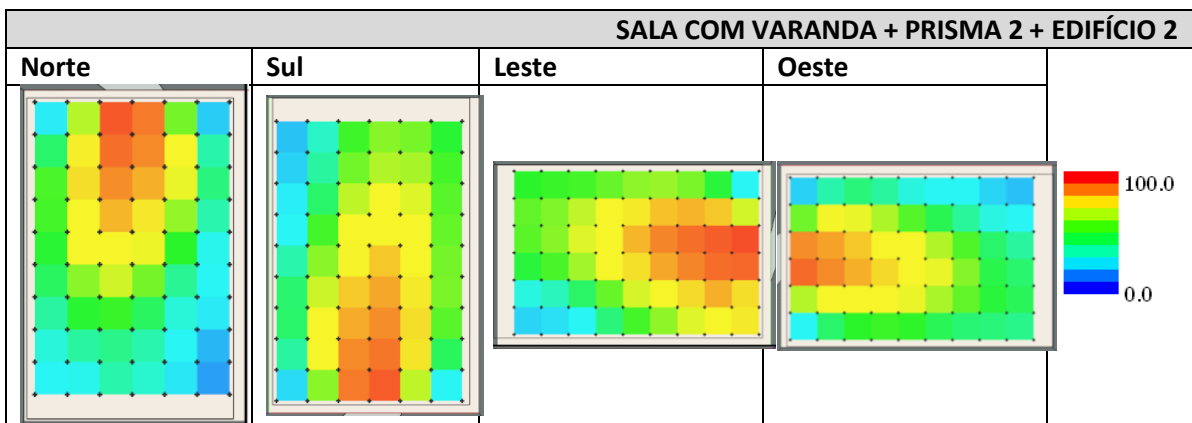
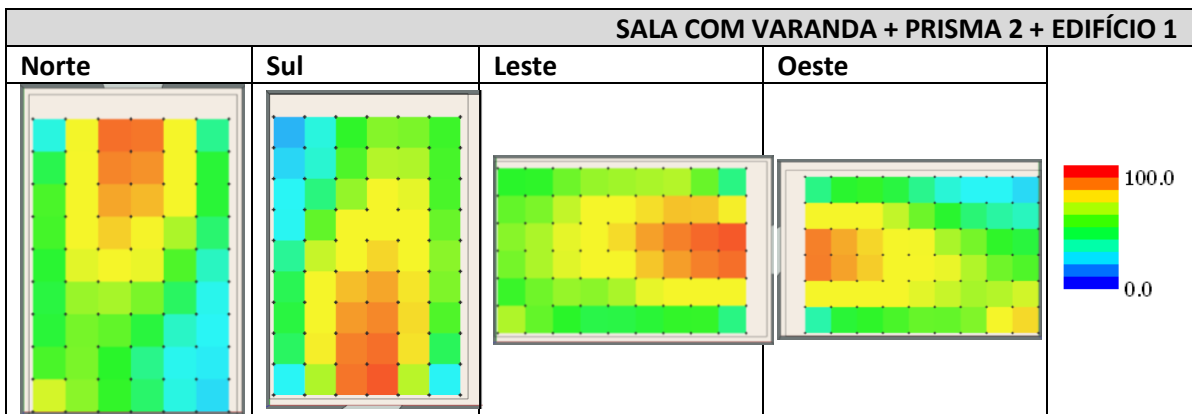
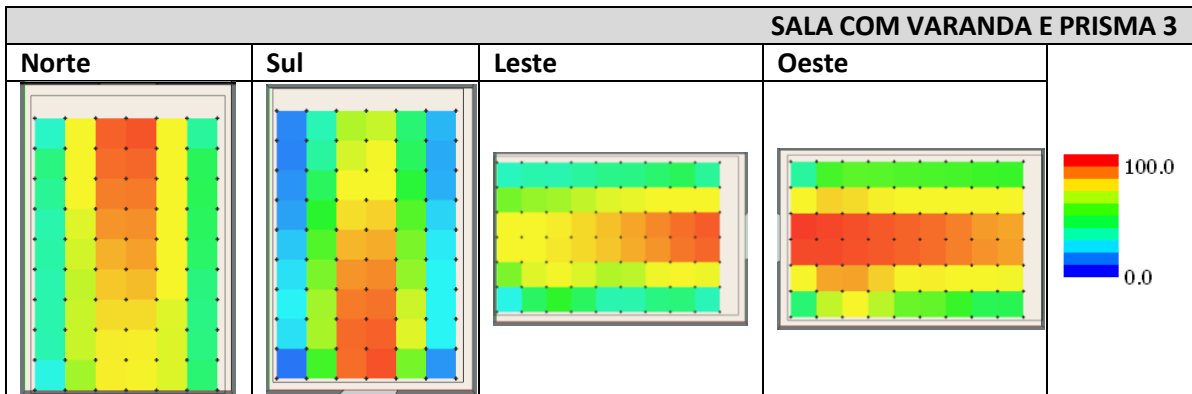
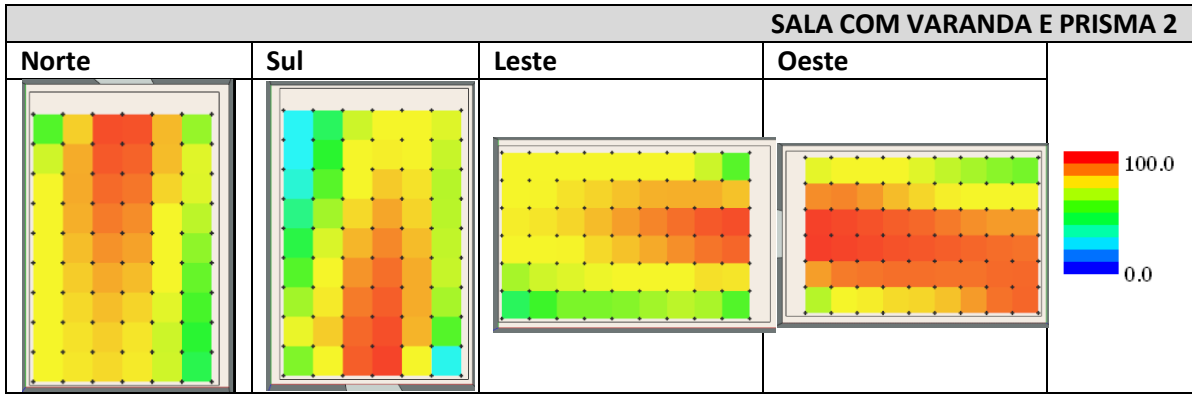


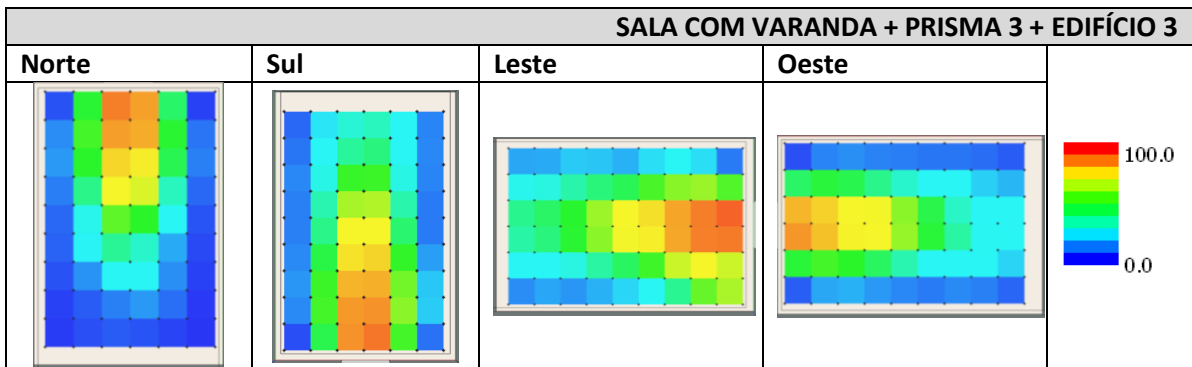
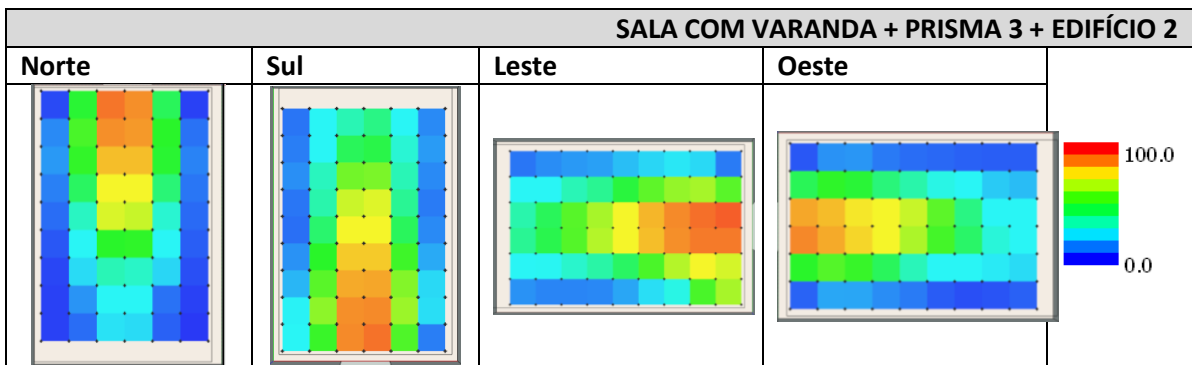
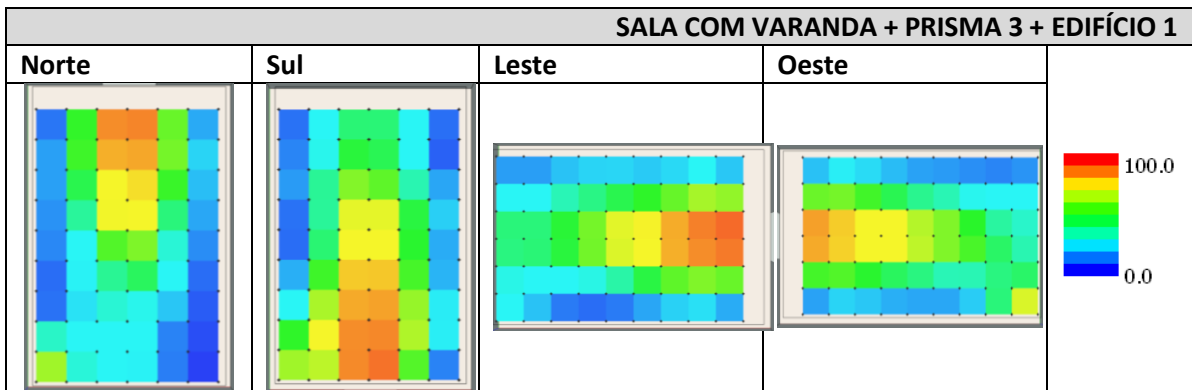
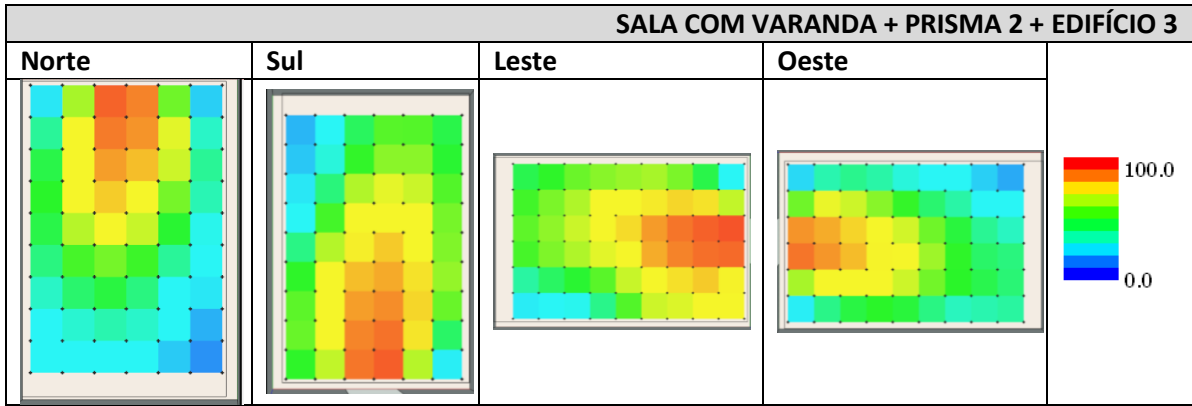






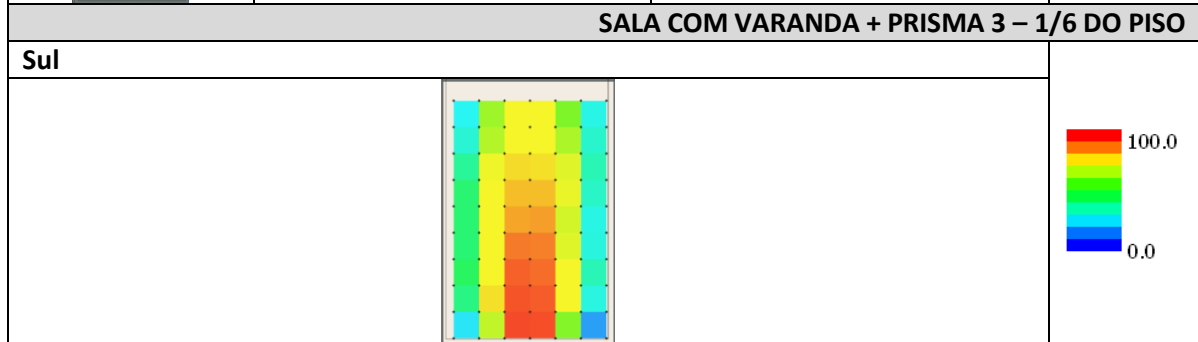
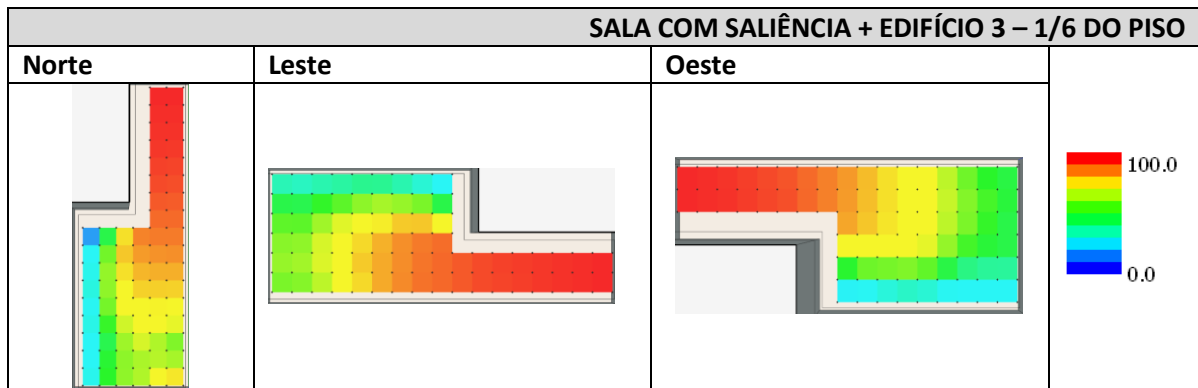
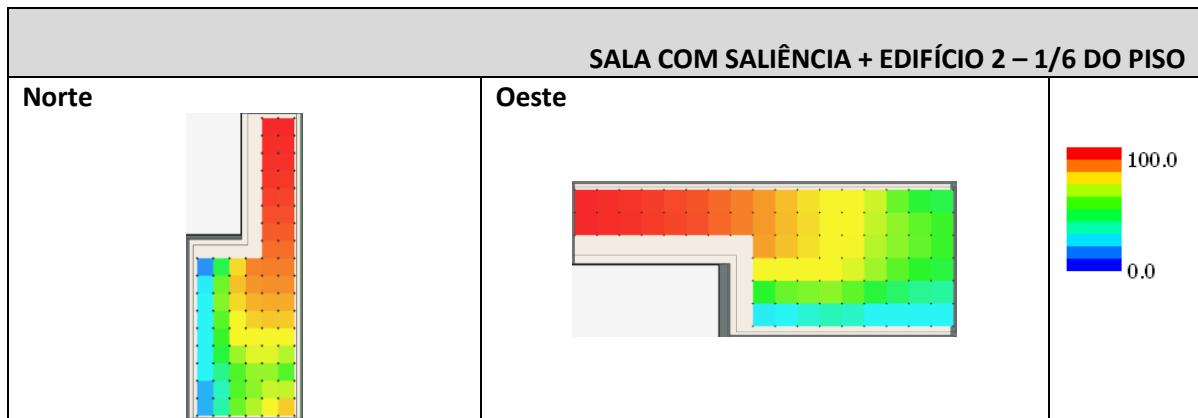
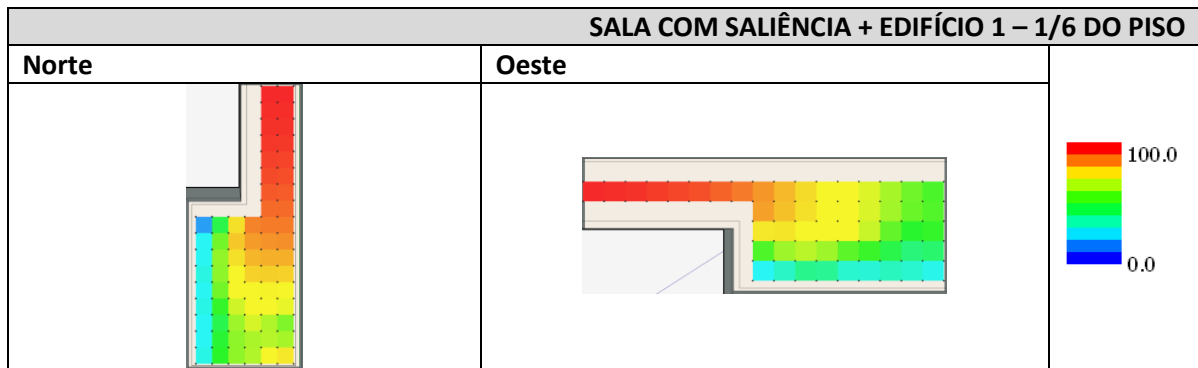


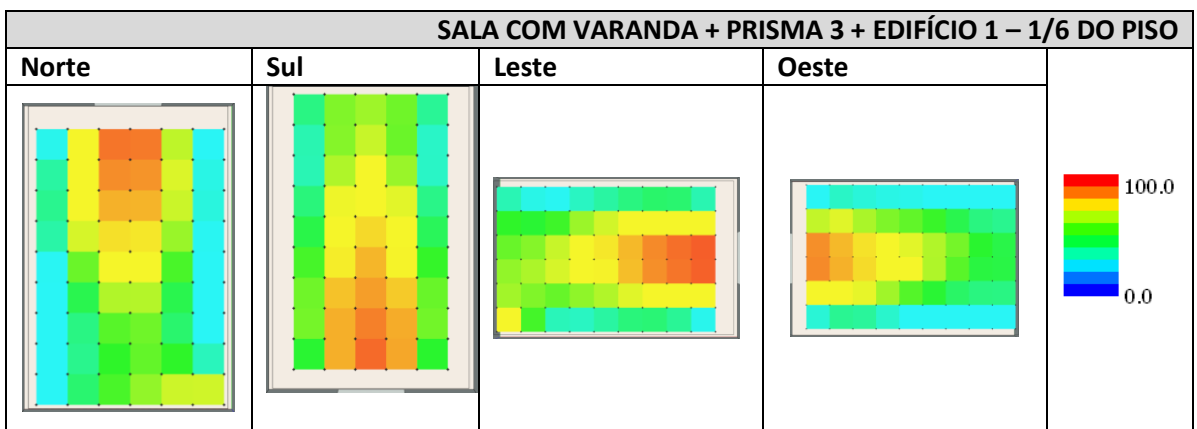
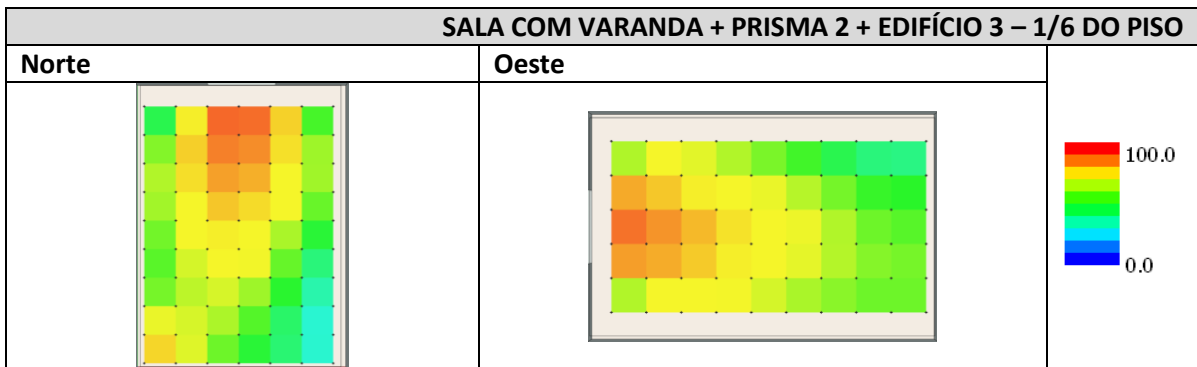
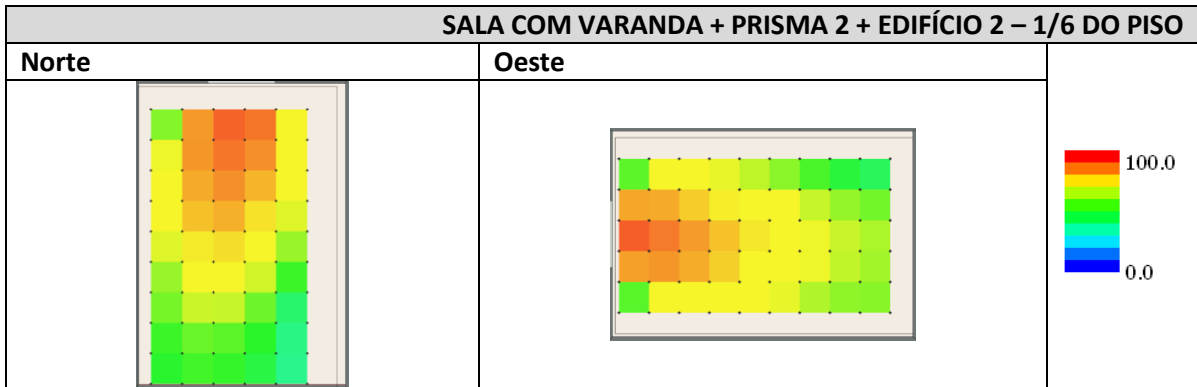
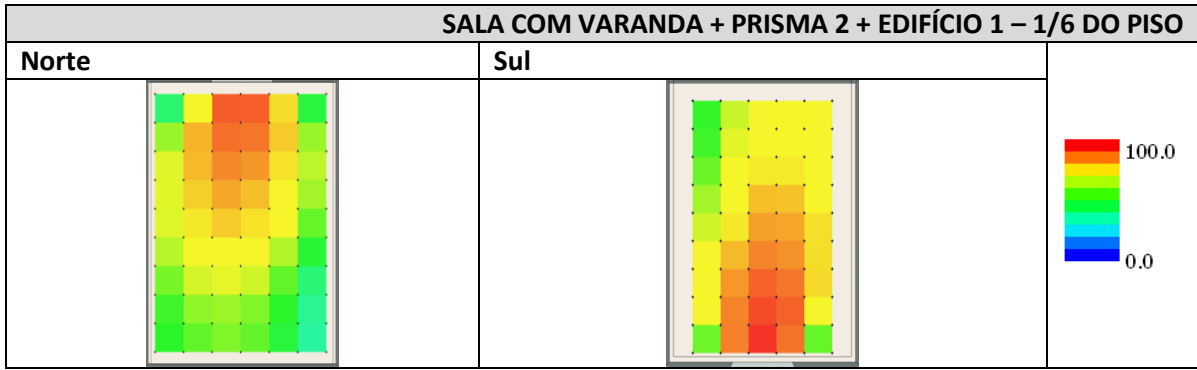


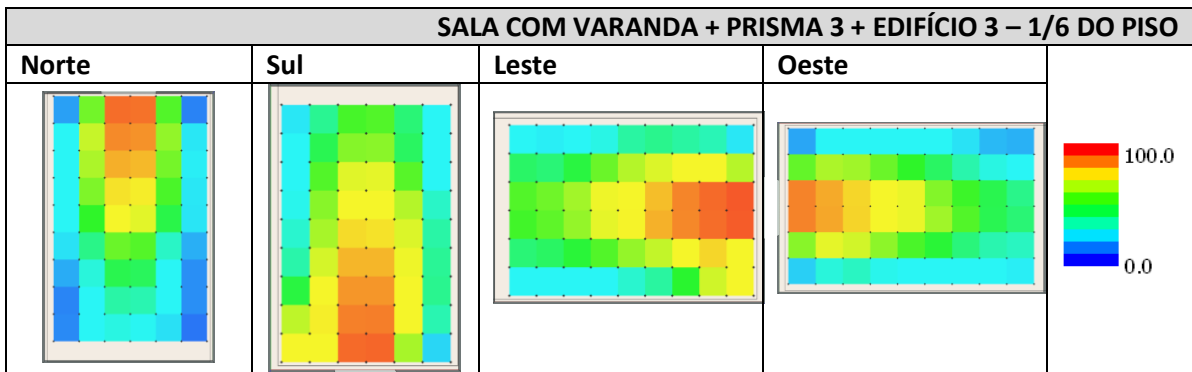
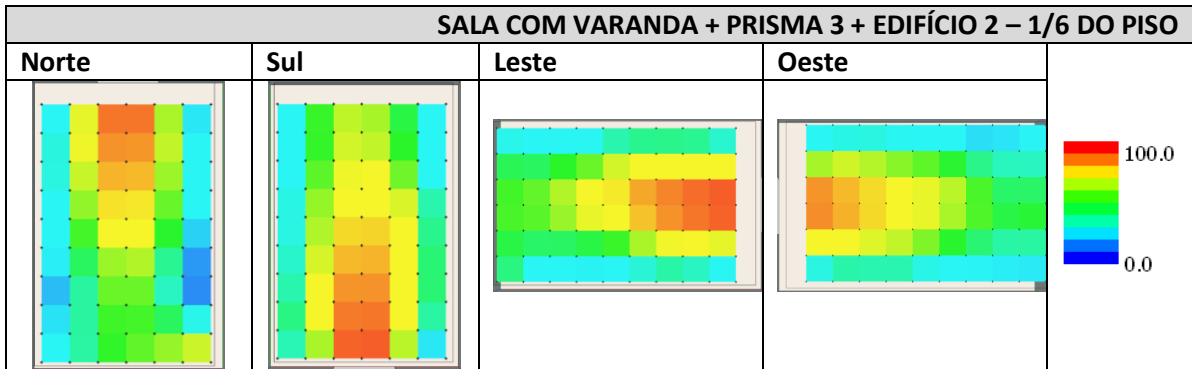


SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/6 DA ÁREA DE PISO

Resultado das simulações para os modelos de SALA para aqueles que não atenderam o critério de autonomia com abertura de 1/8 do piso

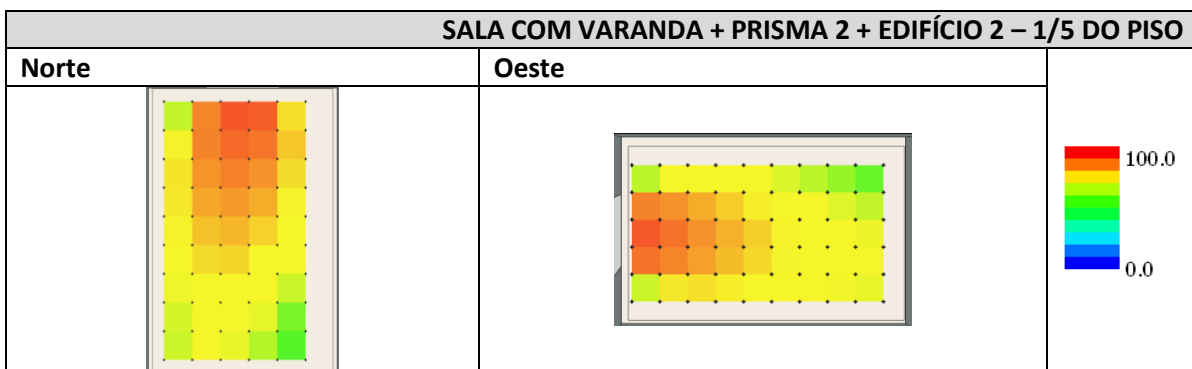
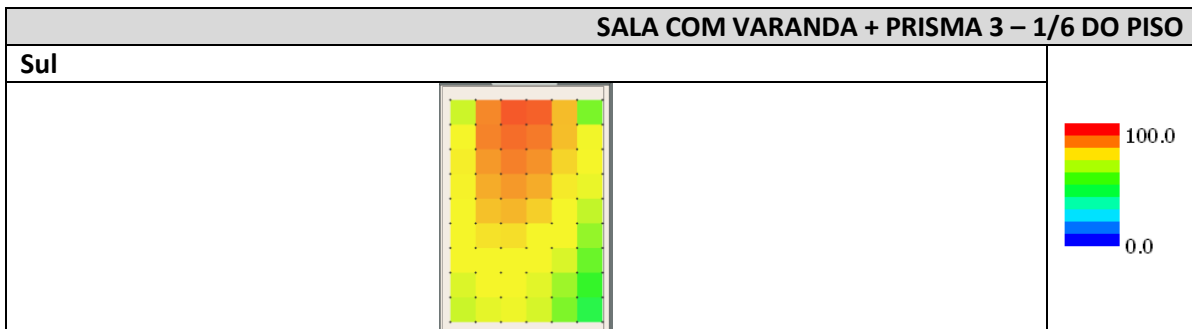


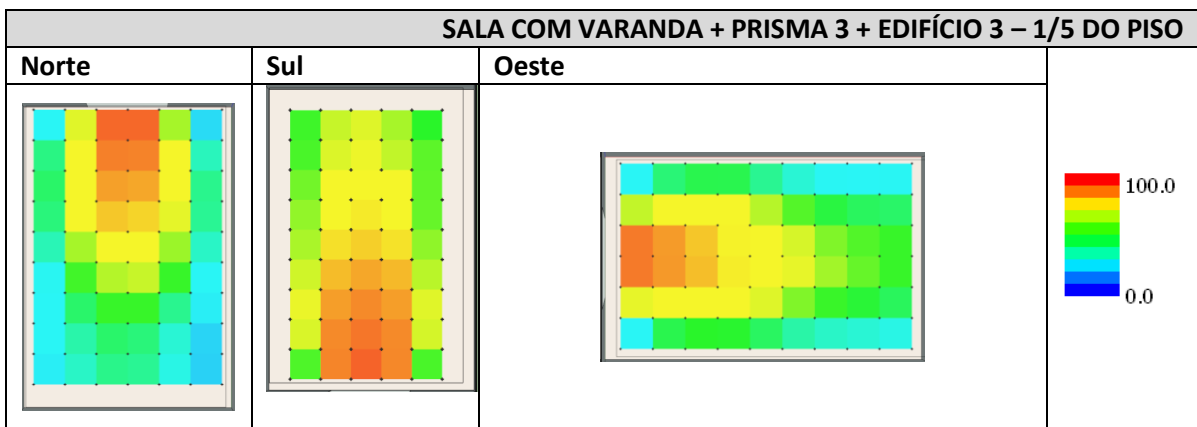
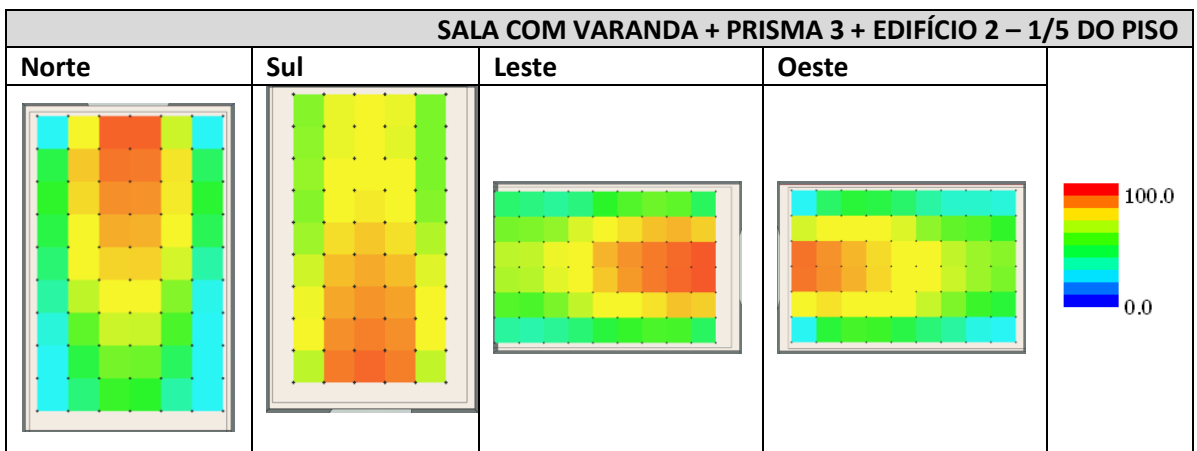
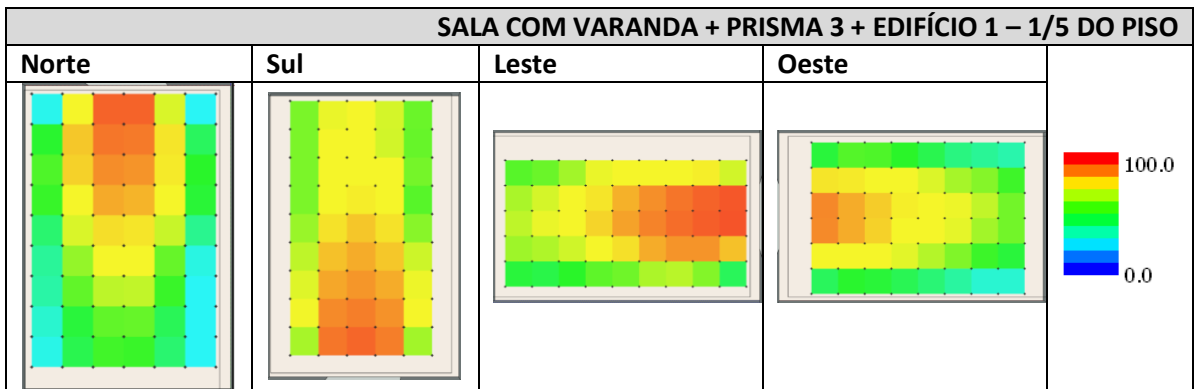
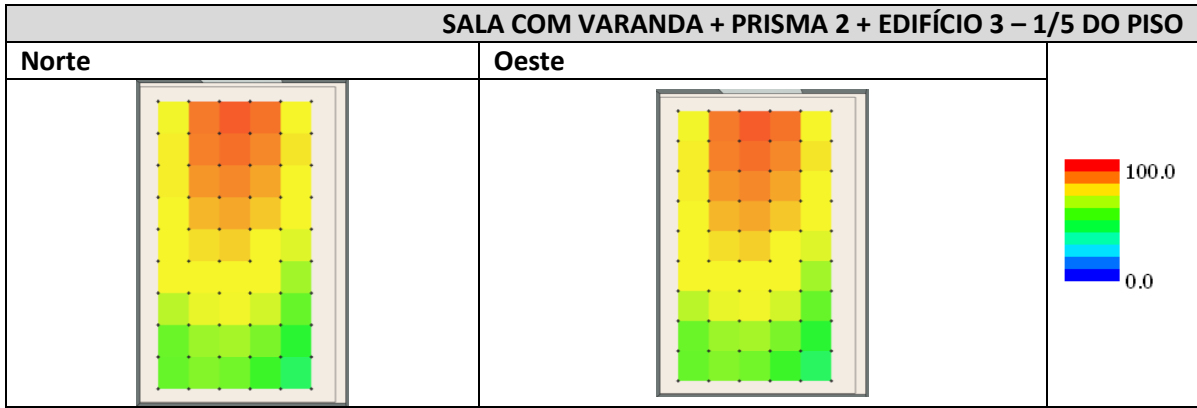




SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/5 DA ÁREA DE PISO

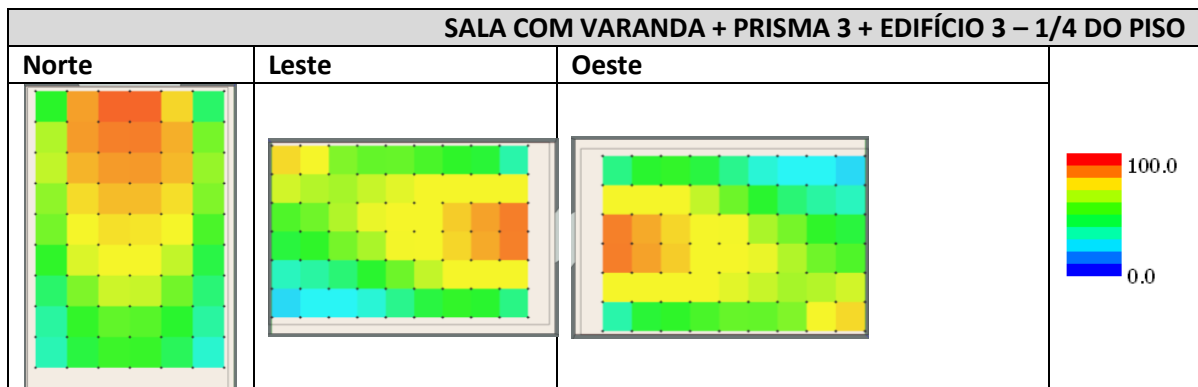
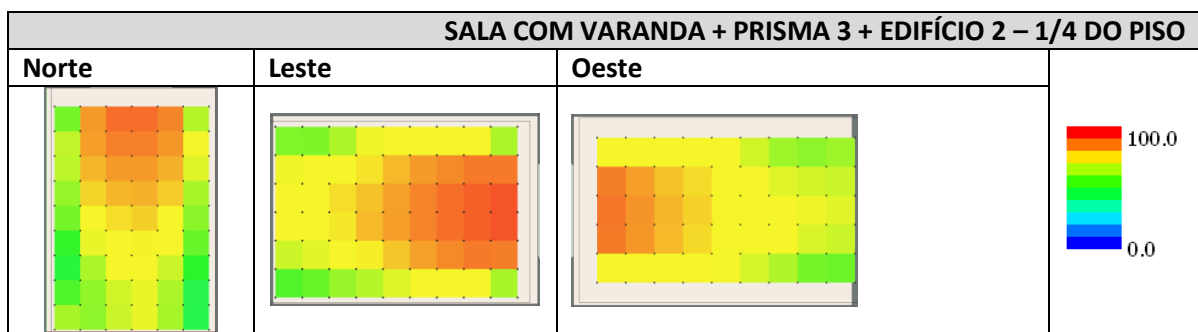
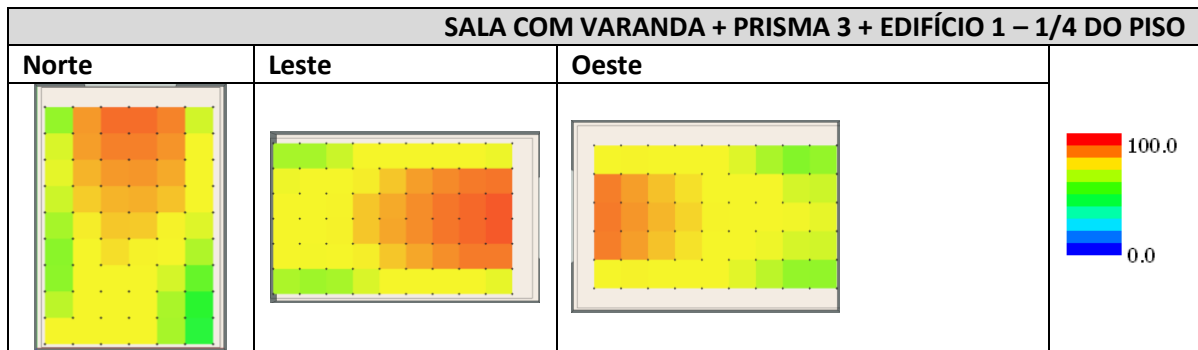
Resultado das simulações para os modelos de SALA para aqueles que não atenderam o critério de autonomia com abertura de 1/6 do piso





SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/4 DA ÁREA DE PISO

Resultado das simulações para os modelos de SALA para aqueles que não atenderam o critério de autonomia com abertura de 1/5 do piso



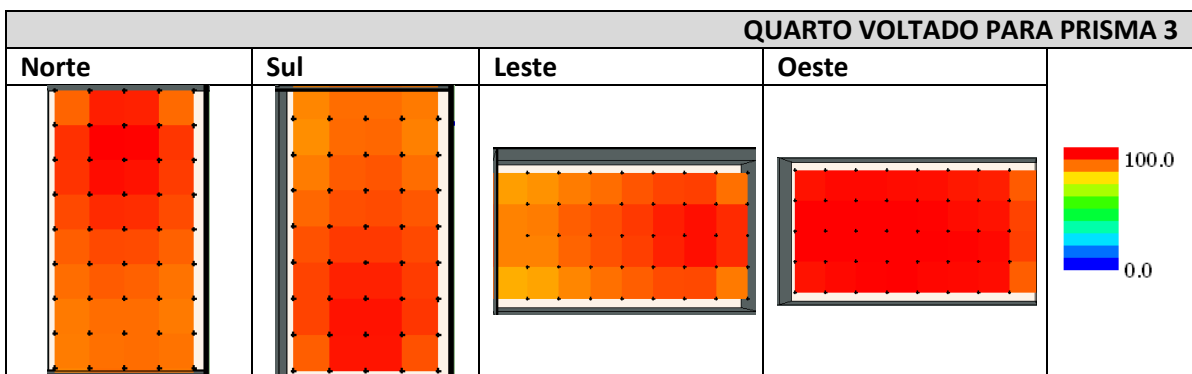
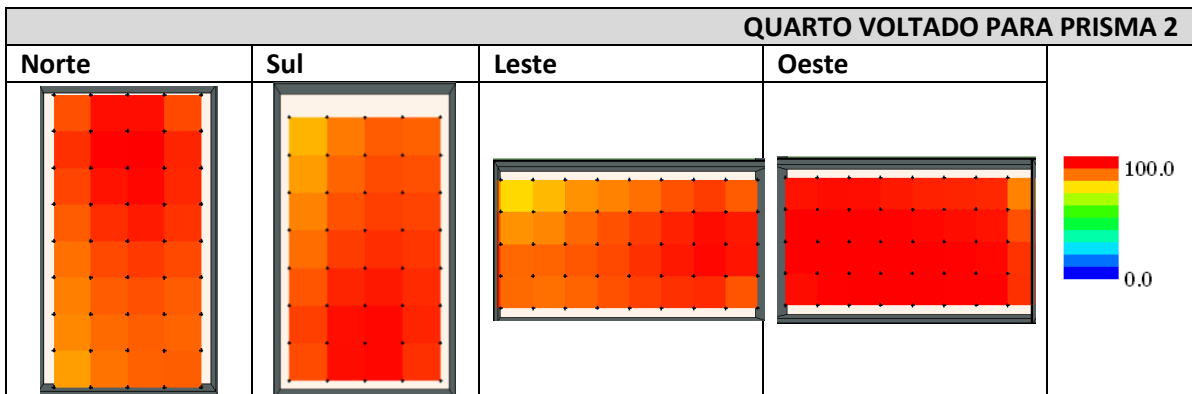
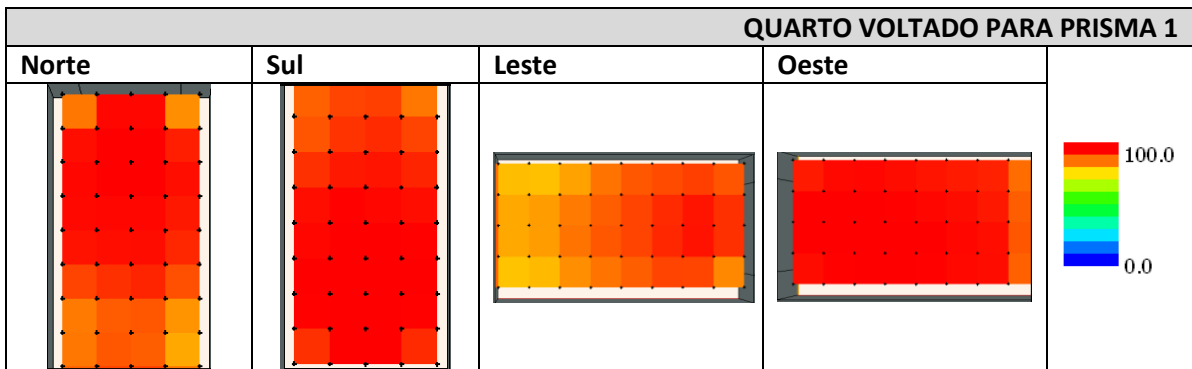
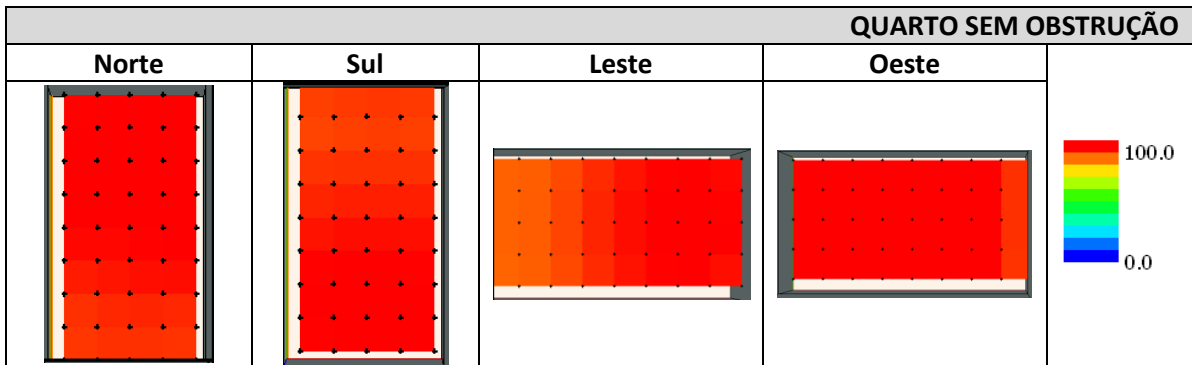
ANEXO 2

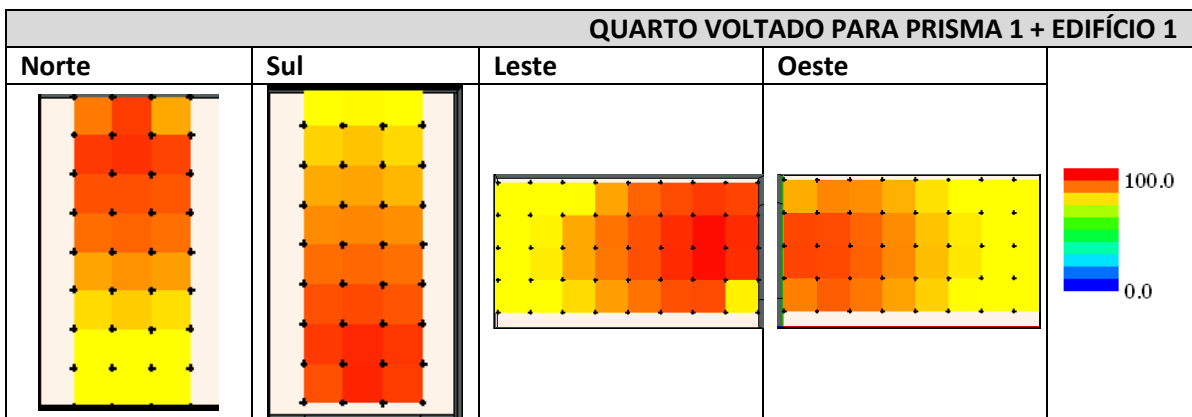
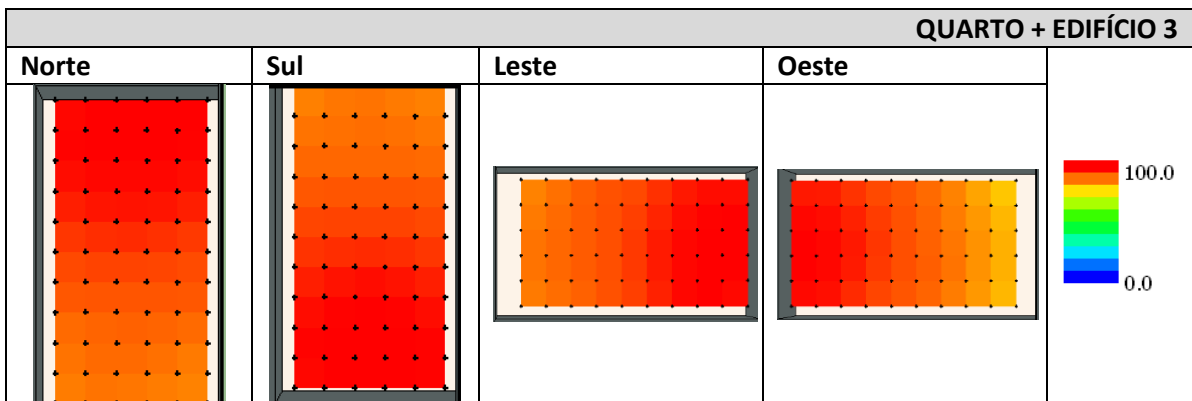
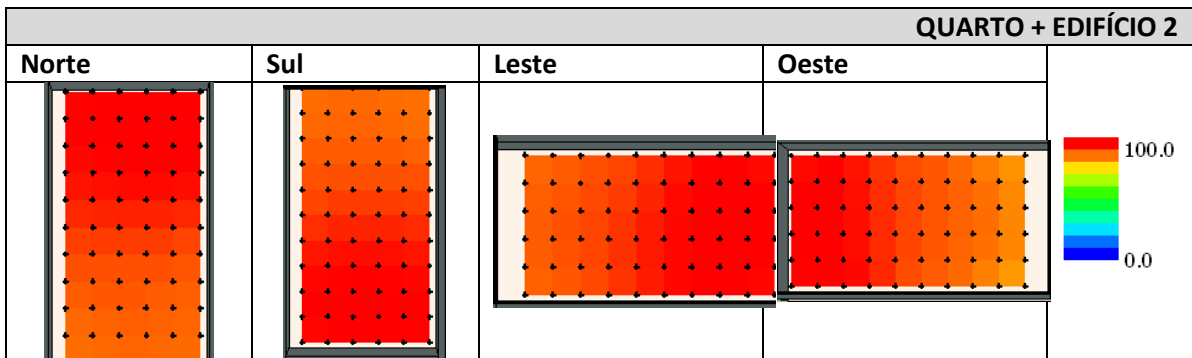
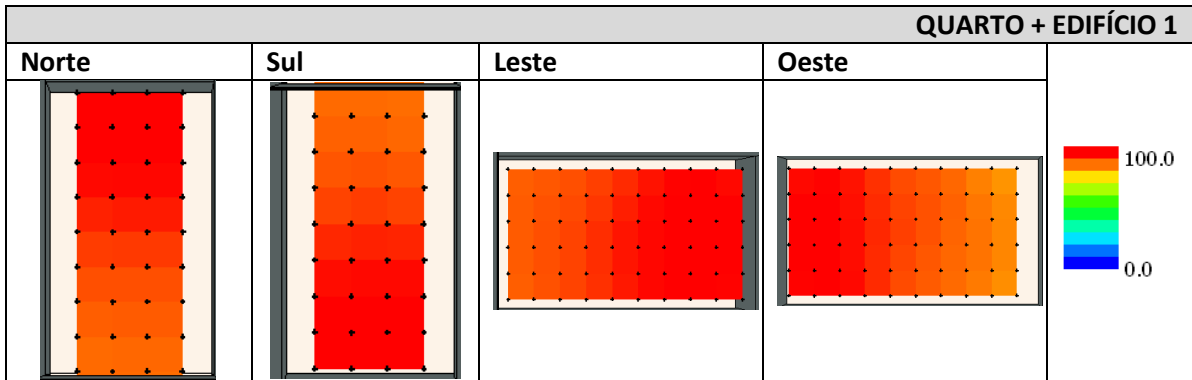
Resultados para QUARTO

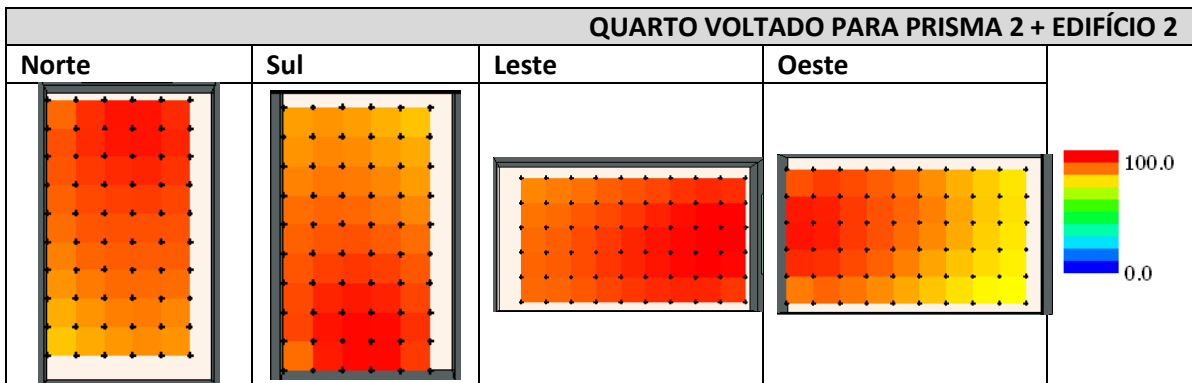
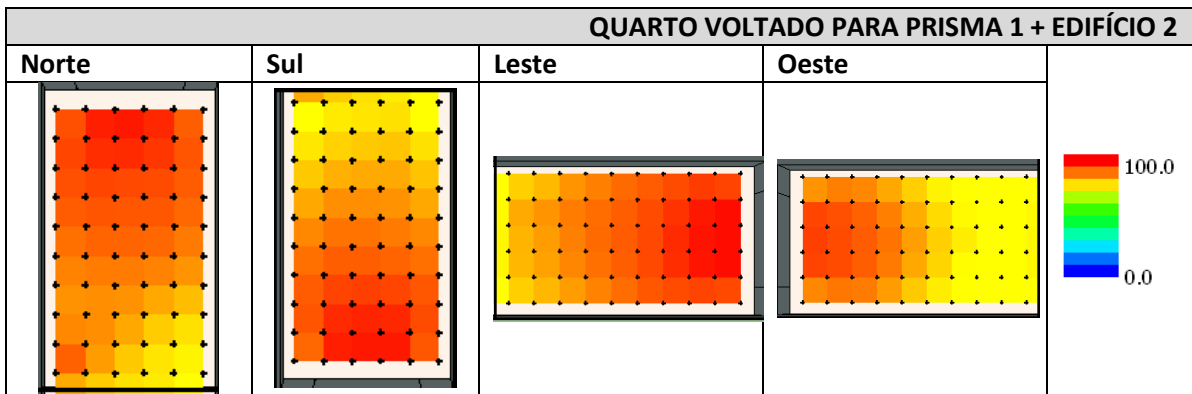
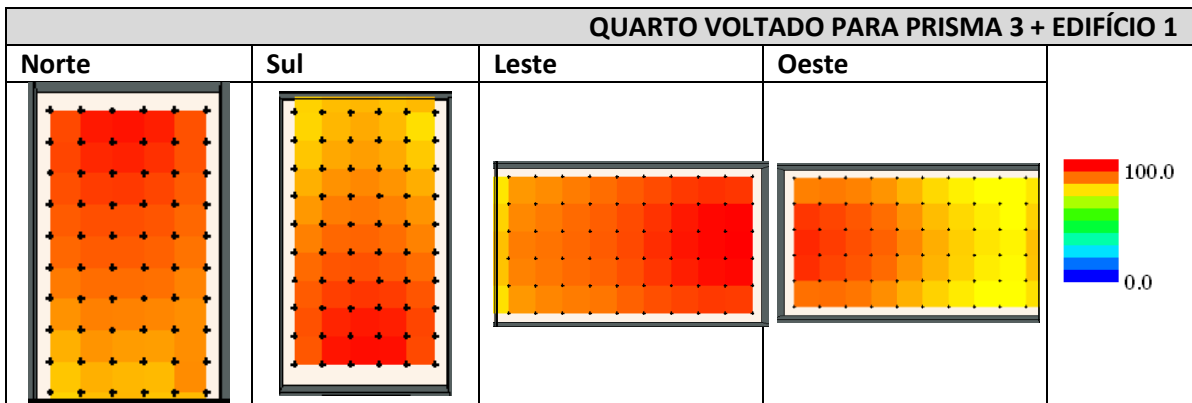
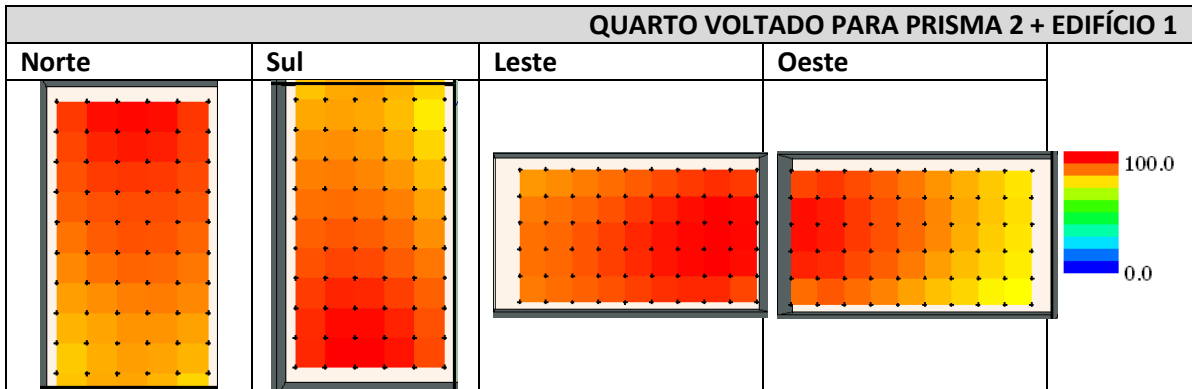
Imagens geradas pelas simulações

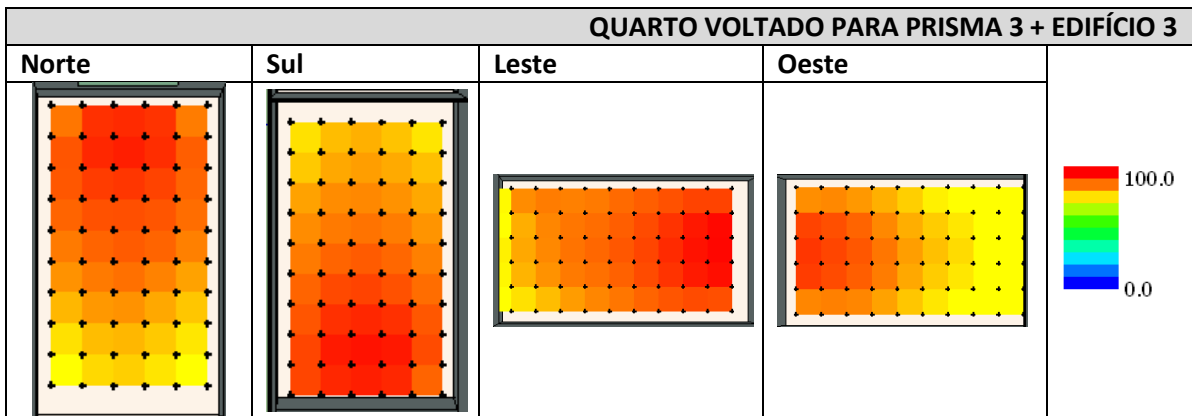
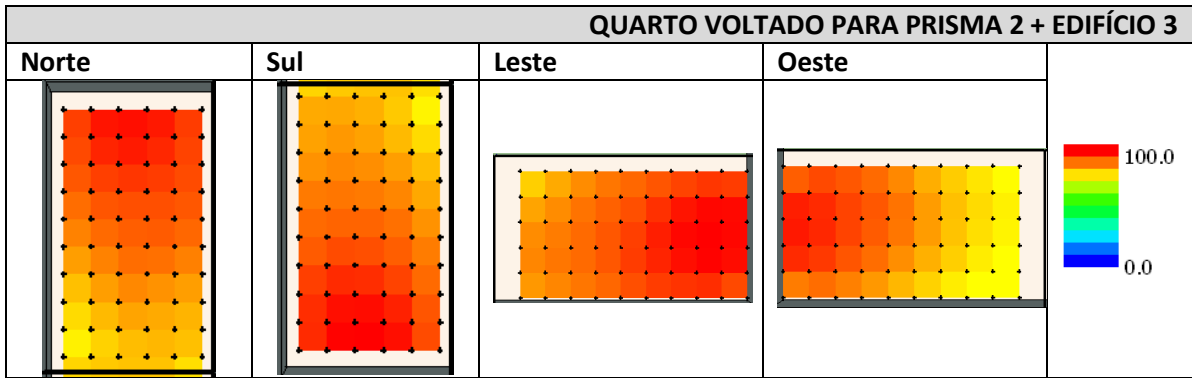
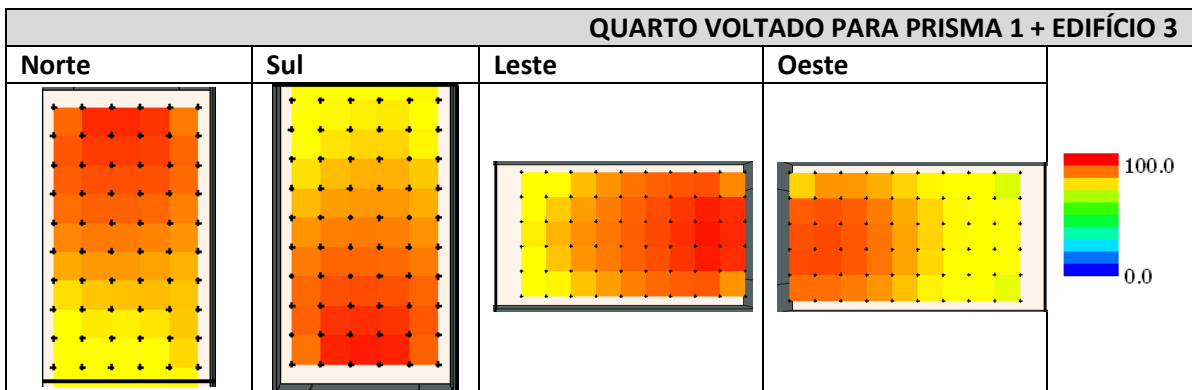
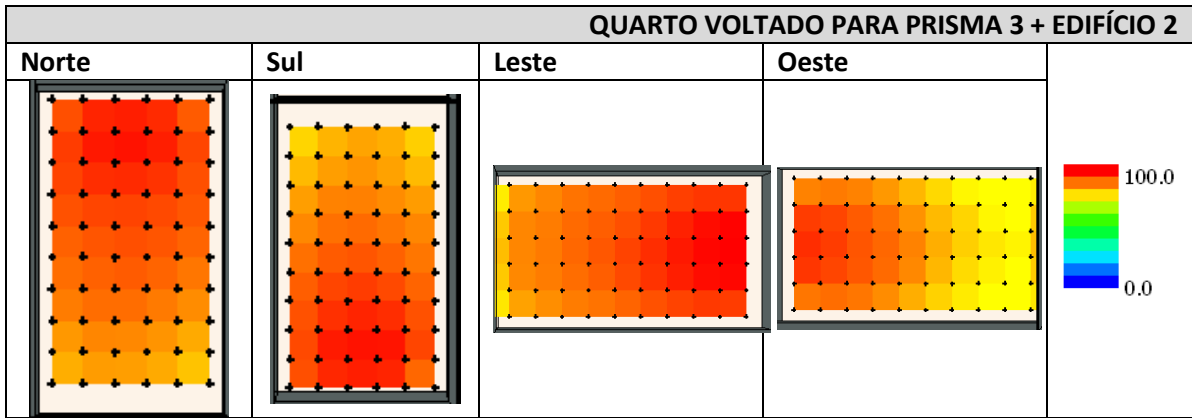
Autonomia de luz natural: 100lux

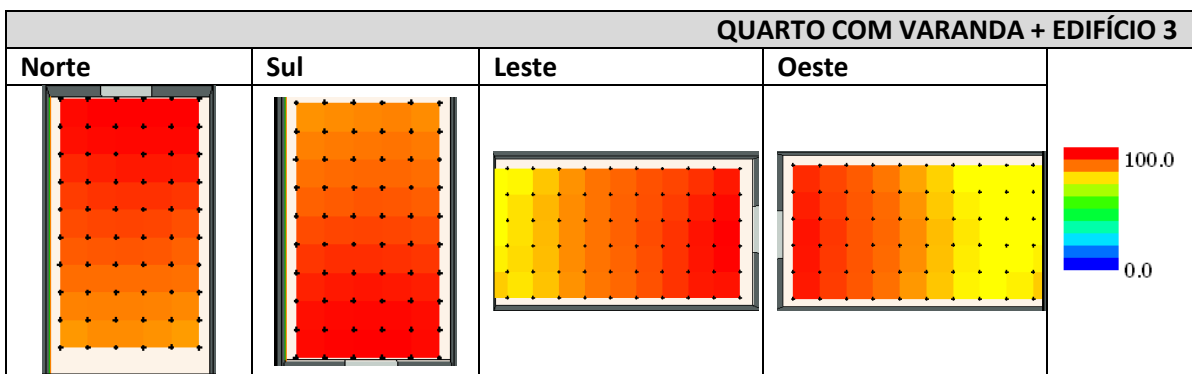
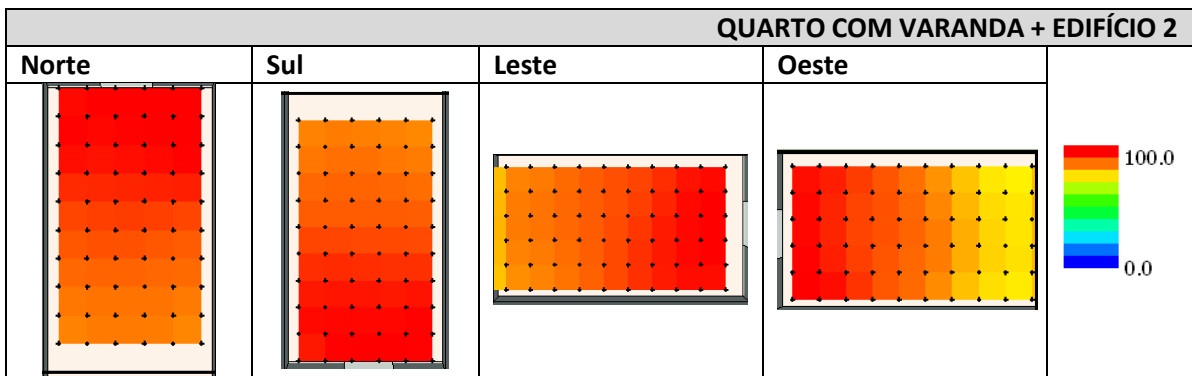
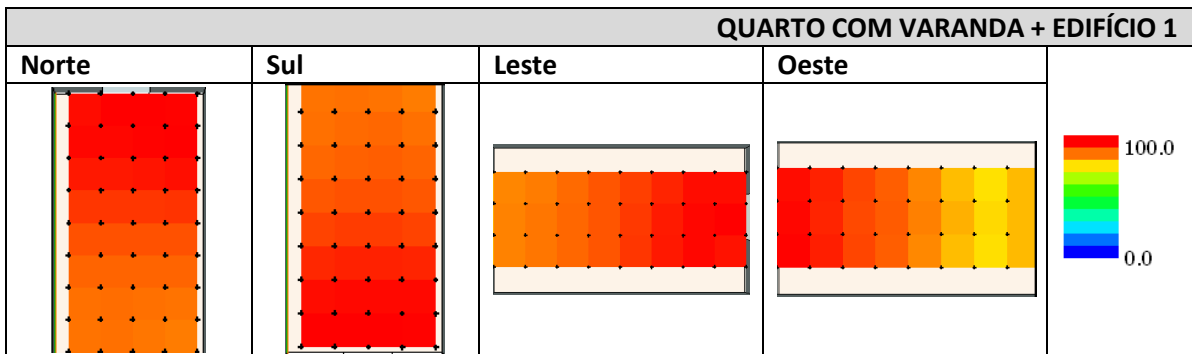
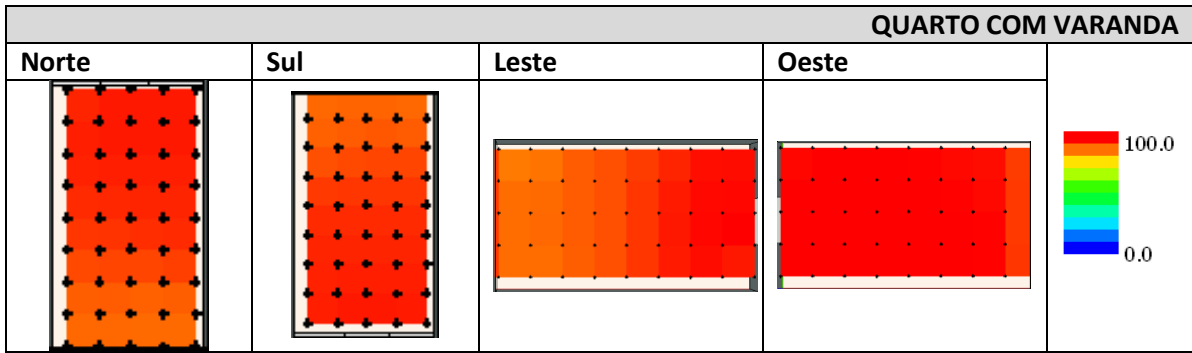
SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/8 DA ÁREA DE PISO

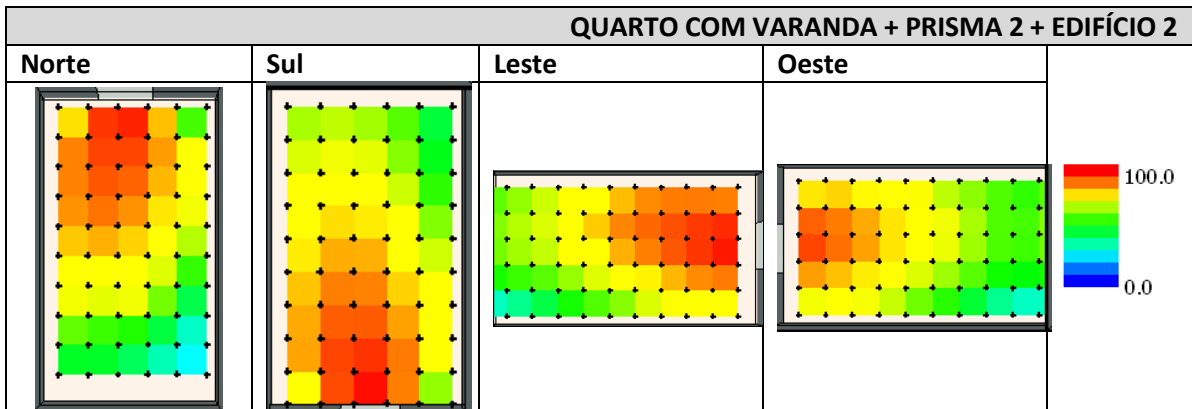
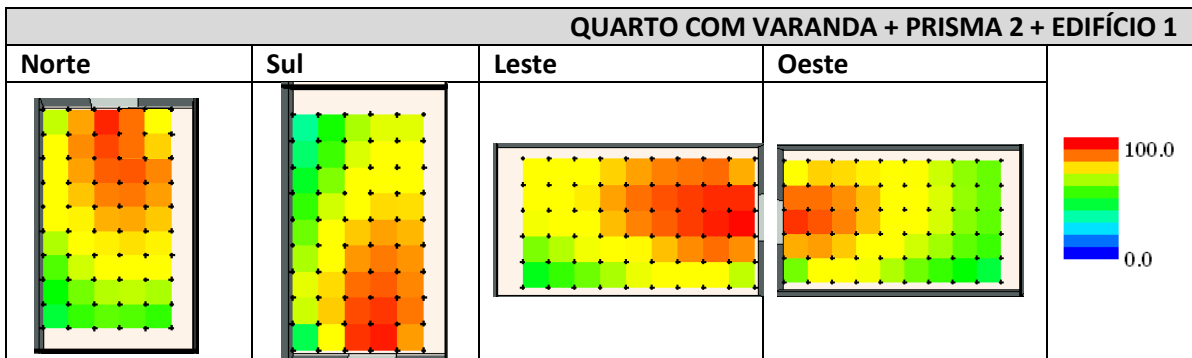
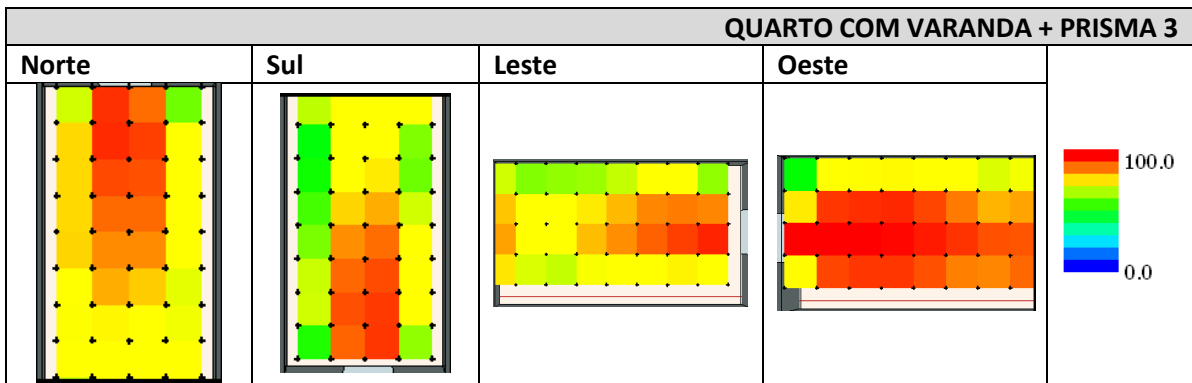
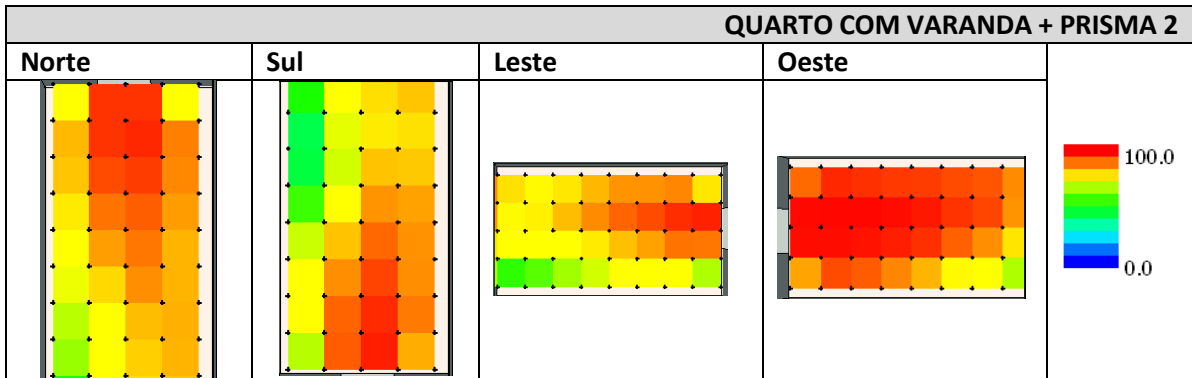


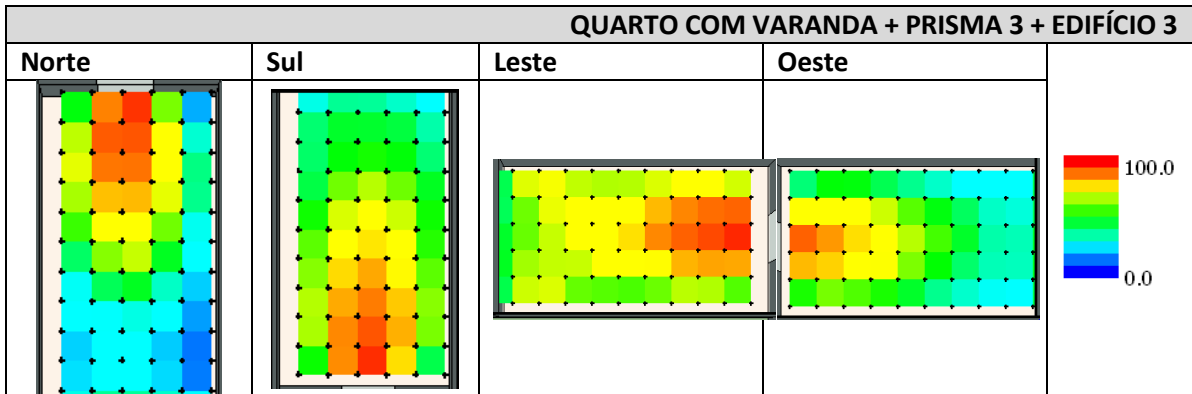
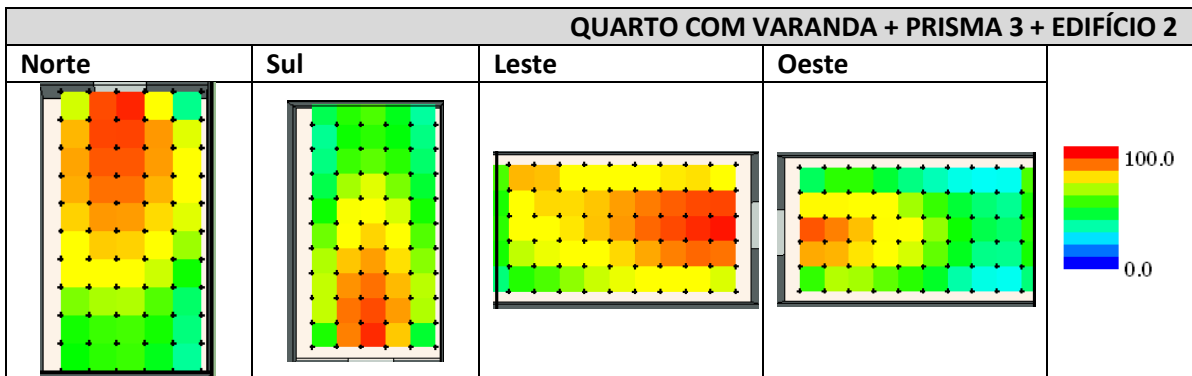
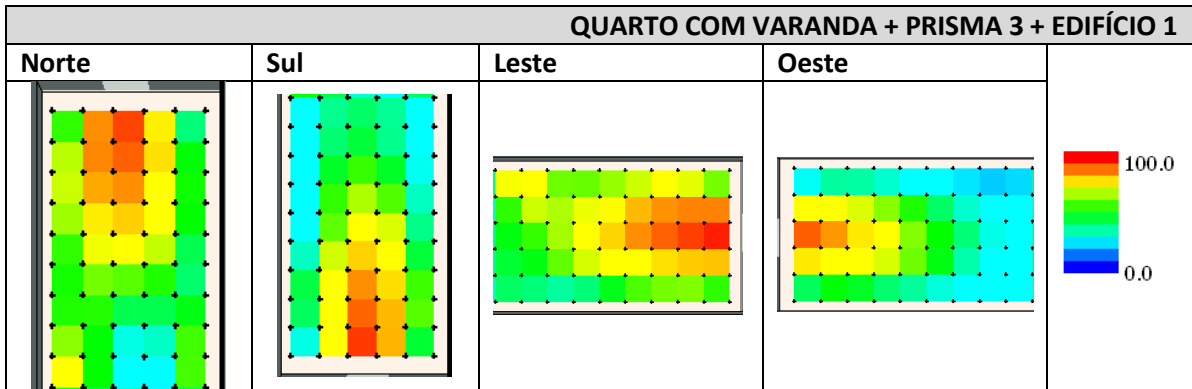
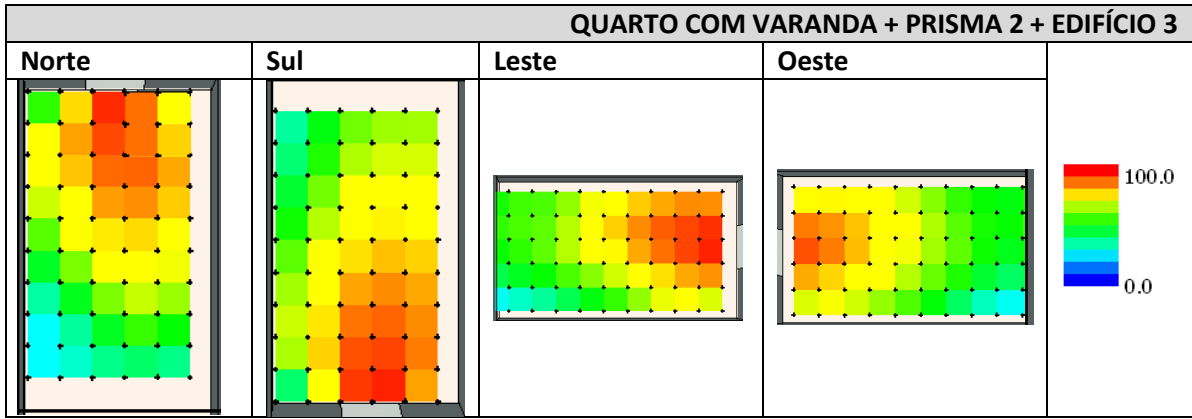


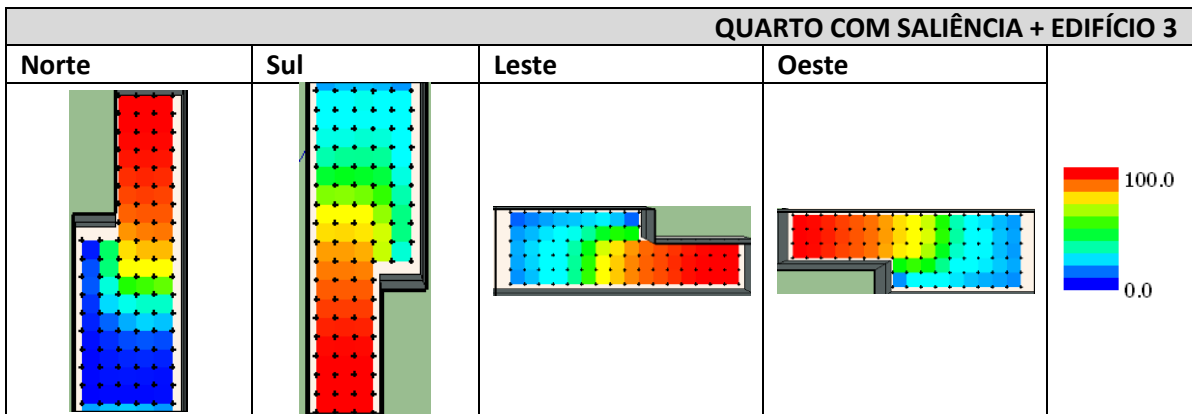
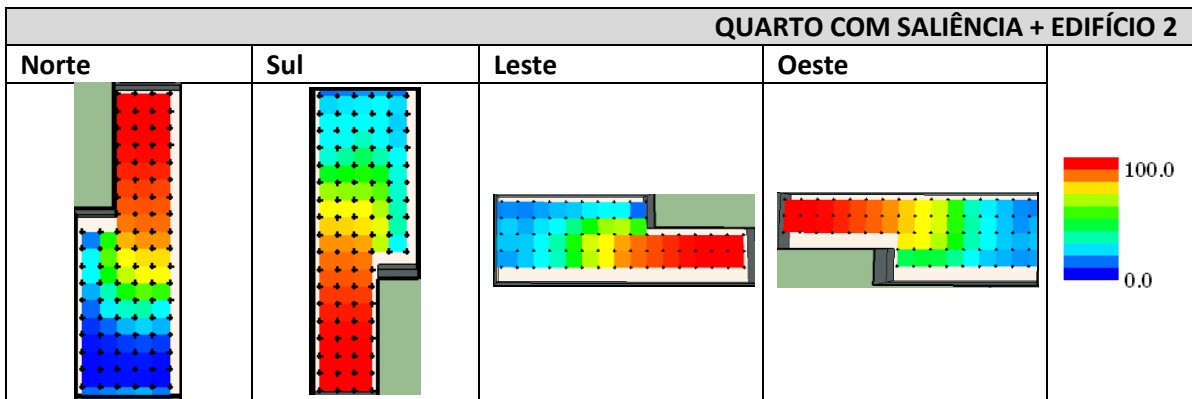
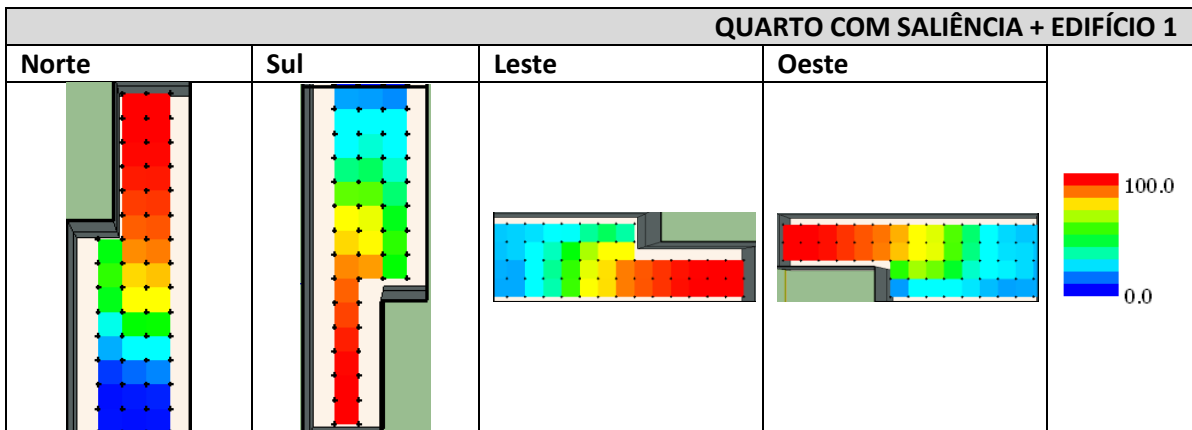
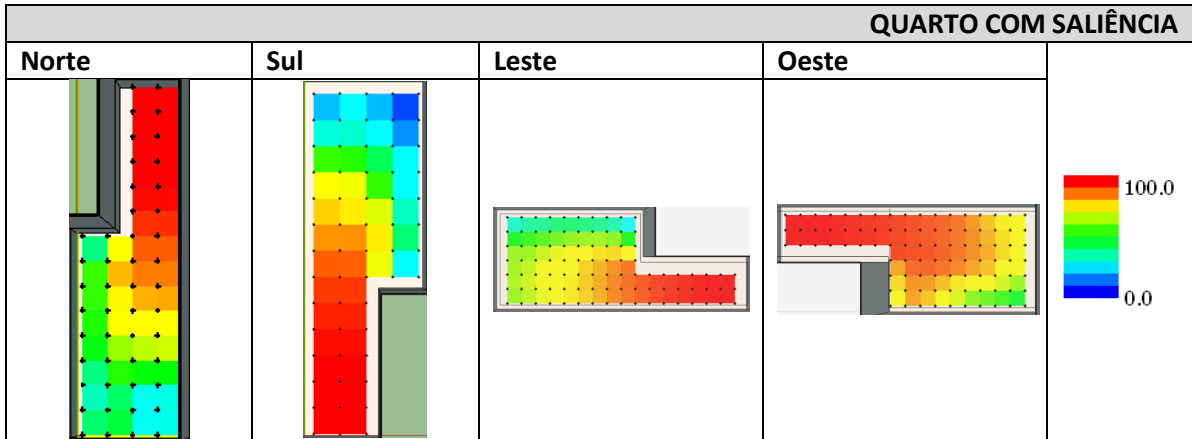






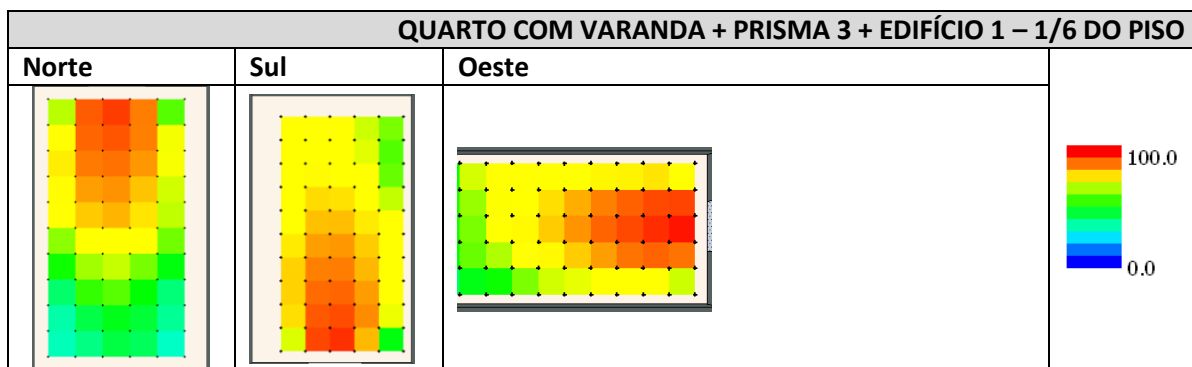
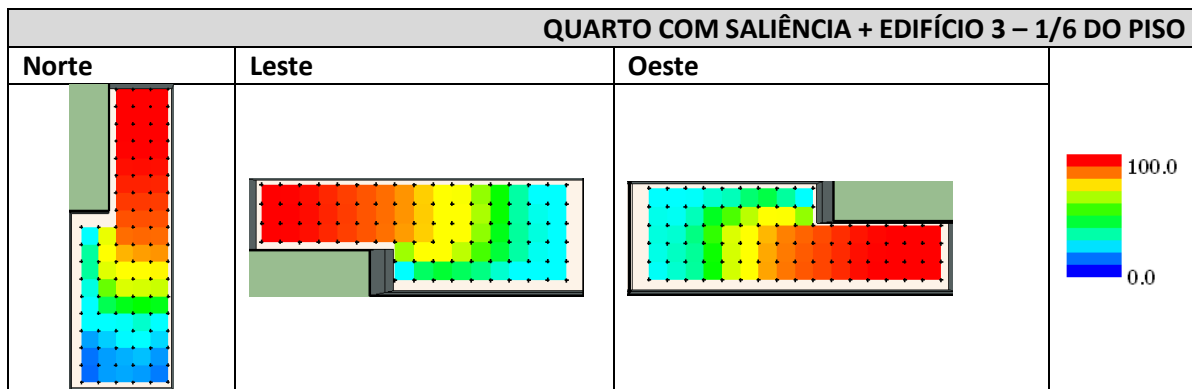
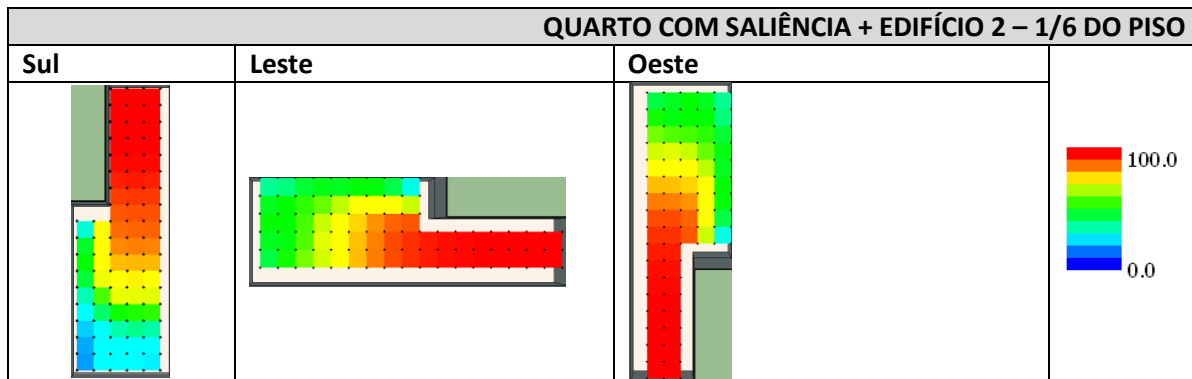
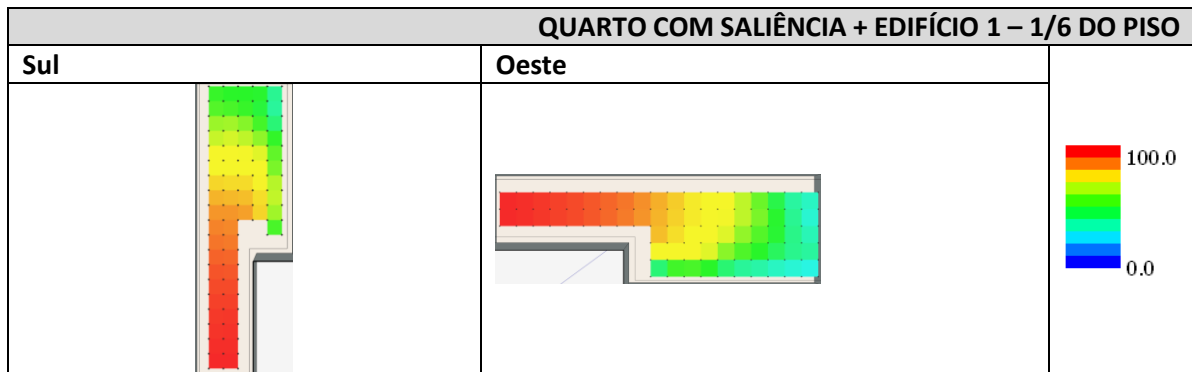


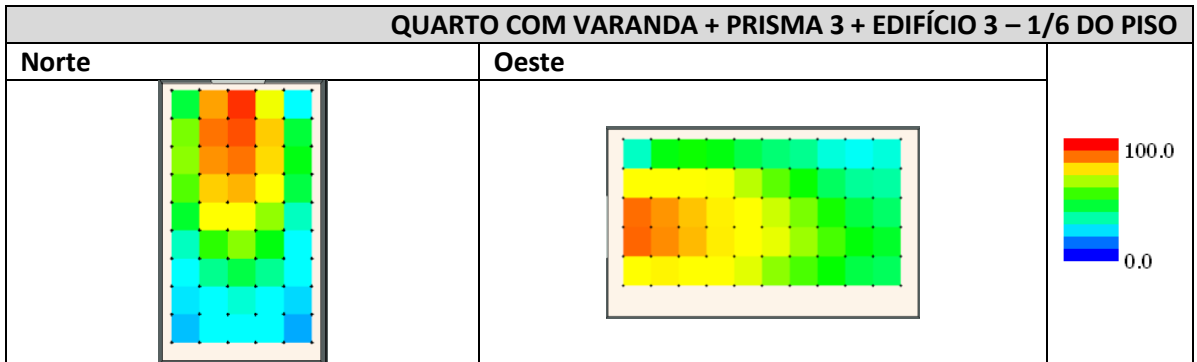
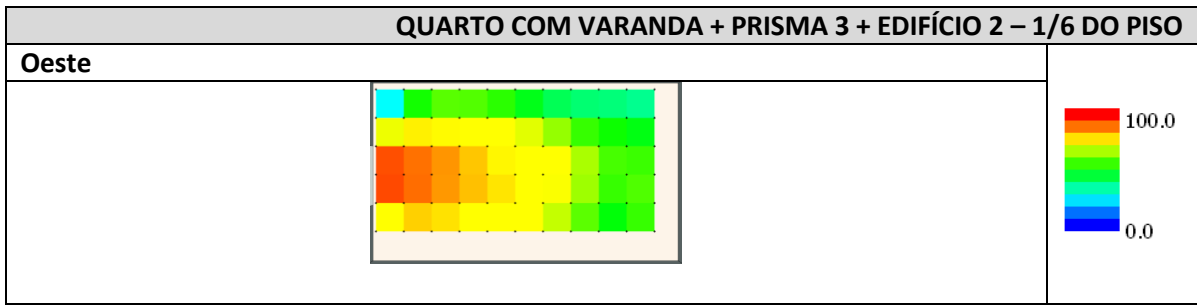




SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/6 DA ÁREA DE PISO

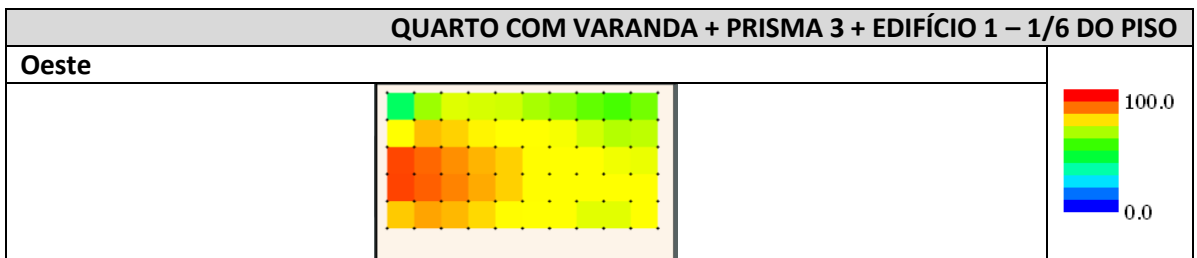
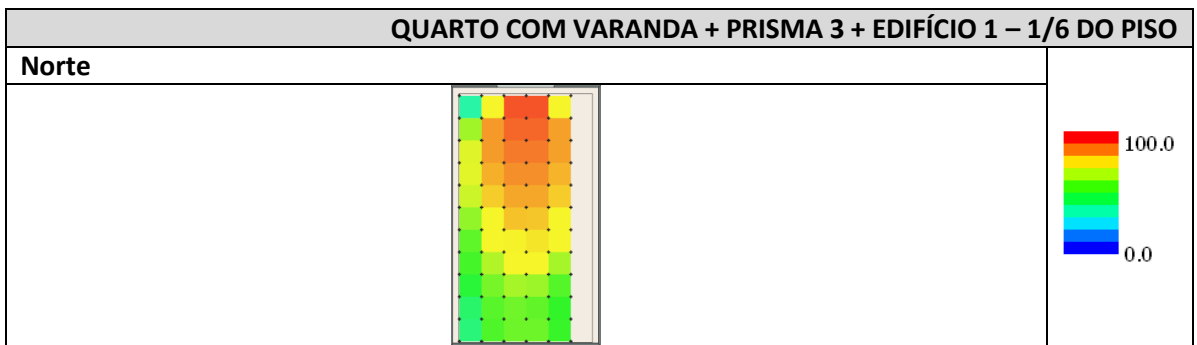
Resultado das simulações para os modelos de QUARTO para aqueles que não atenderam o critério de autonomia com abertura de 1/8 do piso



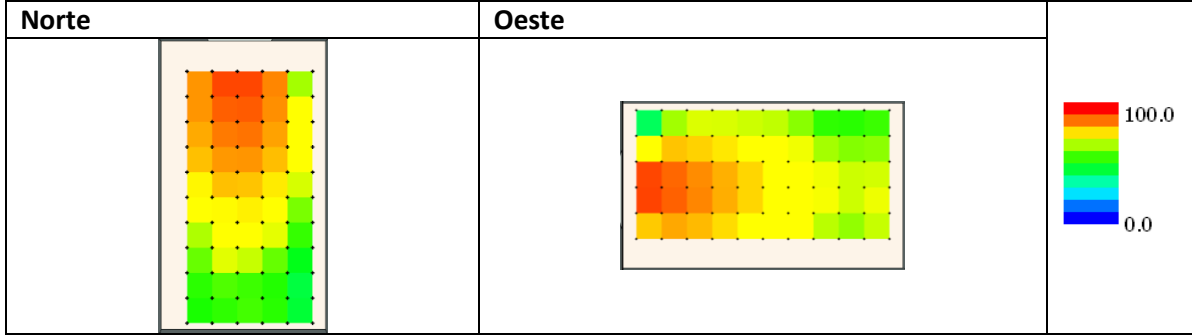


SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/5 DA ÁREA DE PISO

Resultado das simulações para os modelos de QUARTO para aqueles que não atenderam o critério de autonomia com abertura de 1/6 do piso



QUARTO COM VARANDA + PRISMA 3 + EDIFÍCIO 3 – 1/6 DO PISO



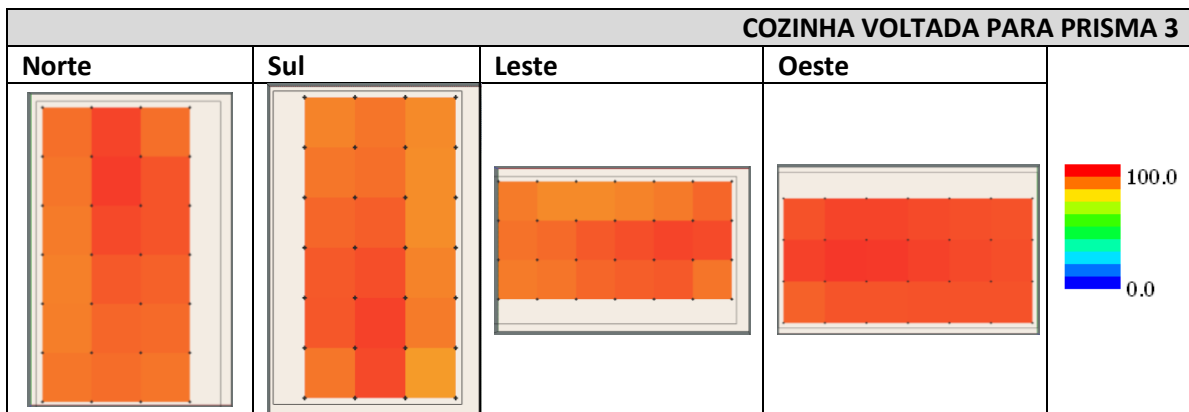
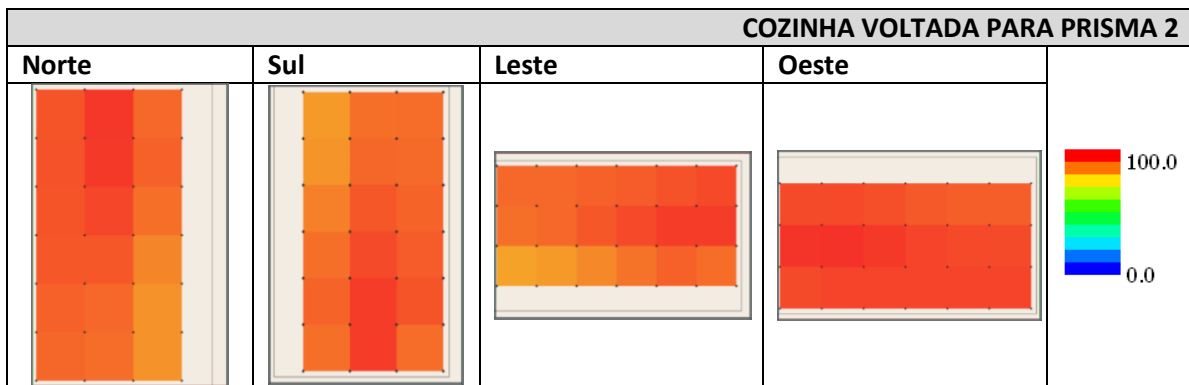
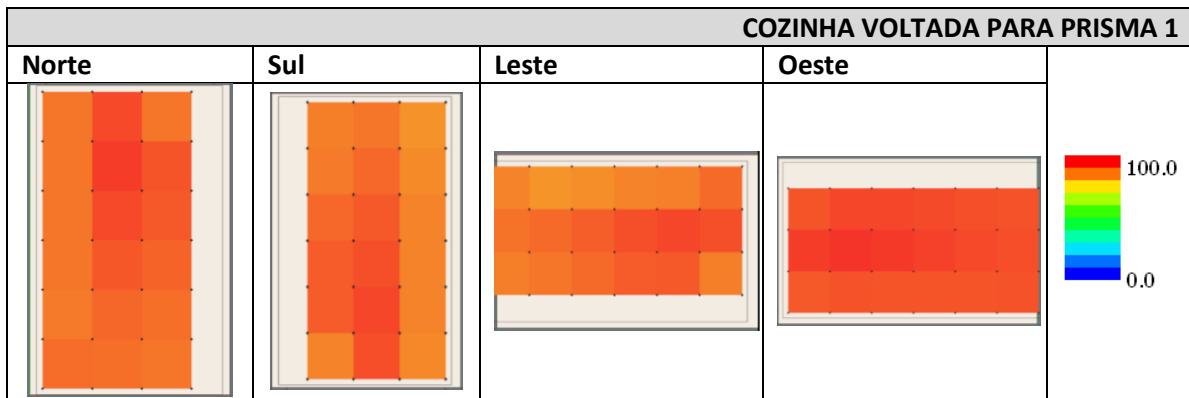
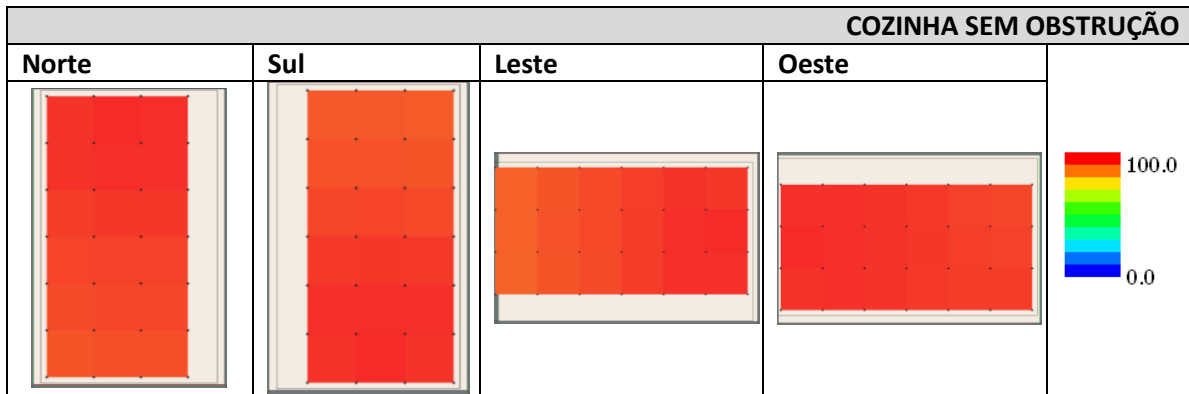
ANEXO 3

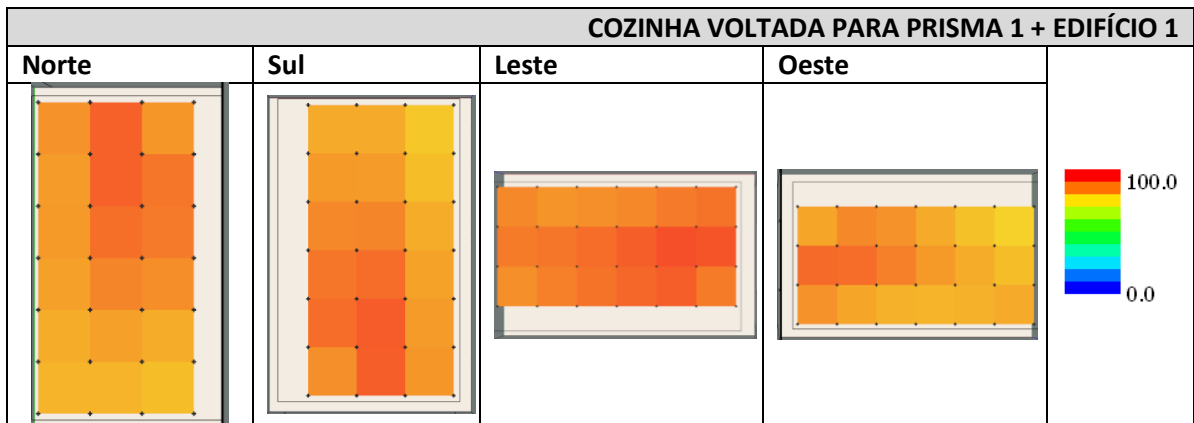
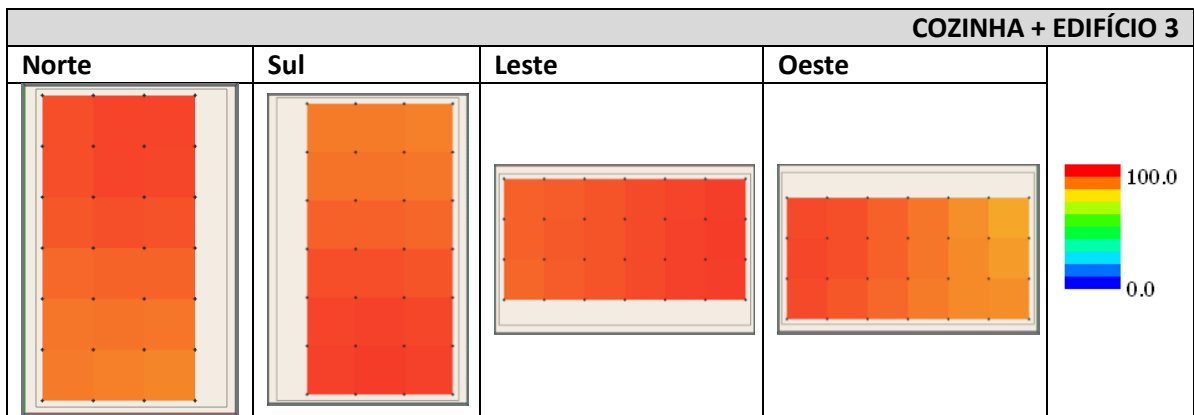
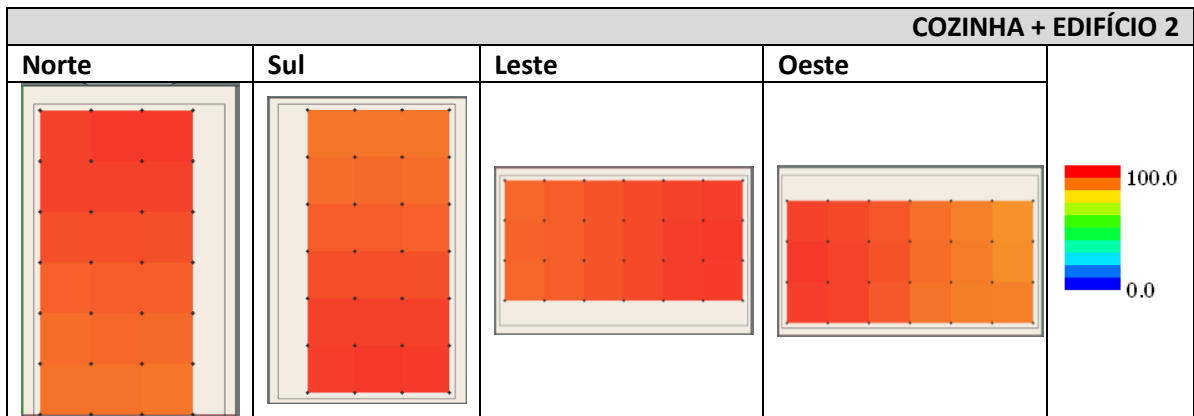
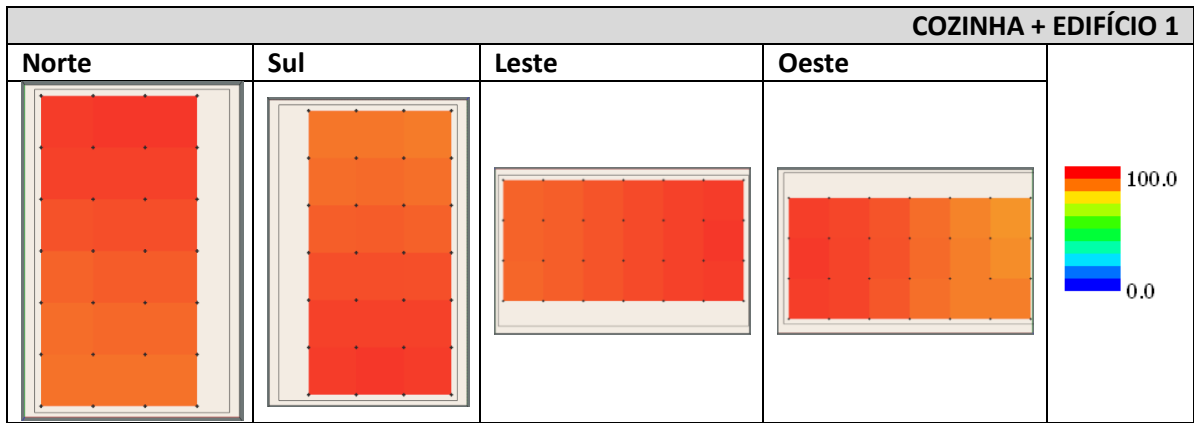
Resultados para COZINHA

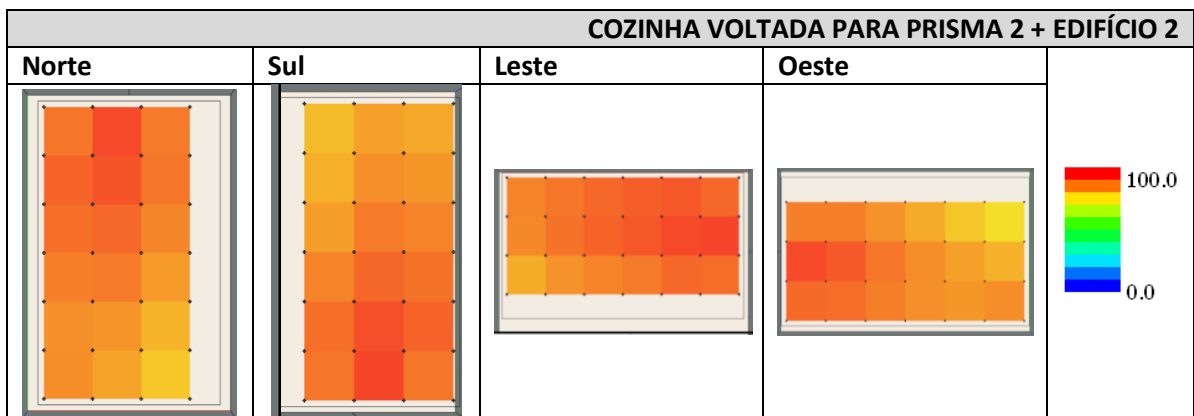
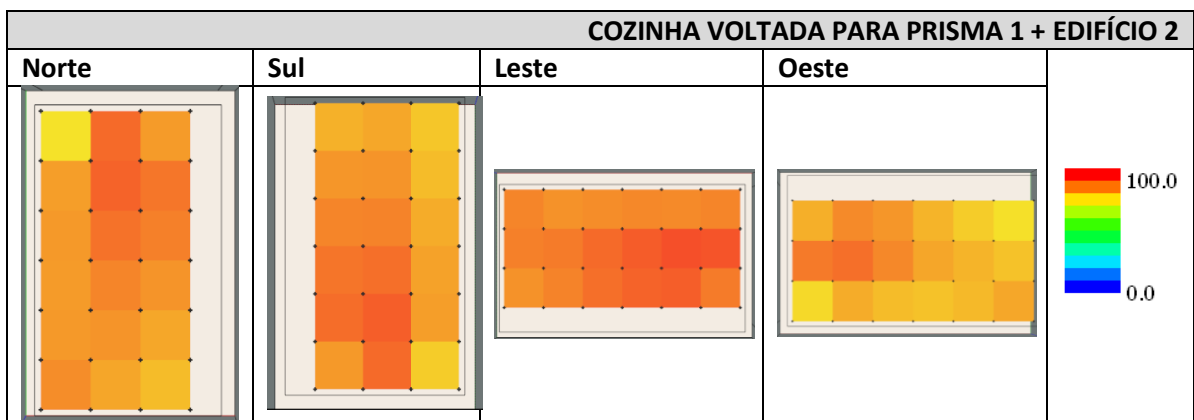
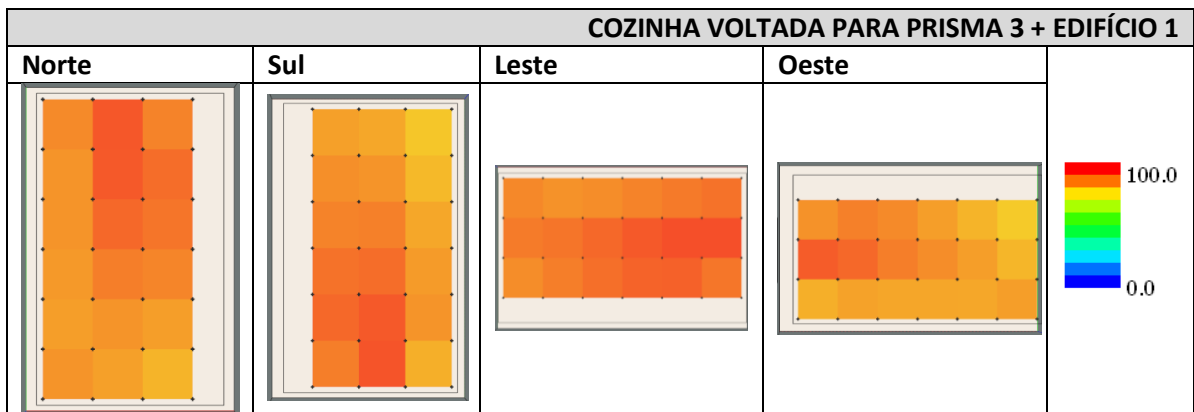
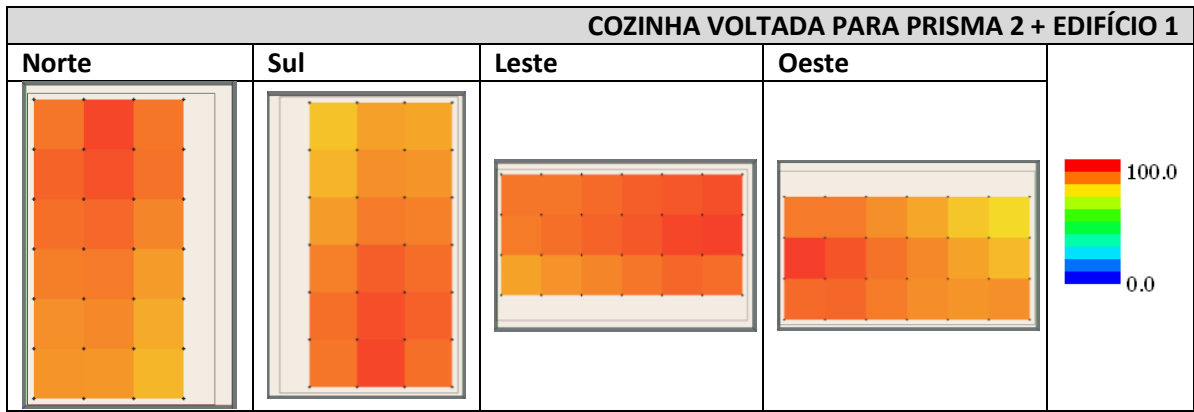
Imagens geradas pelas simulações

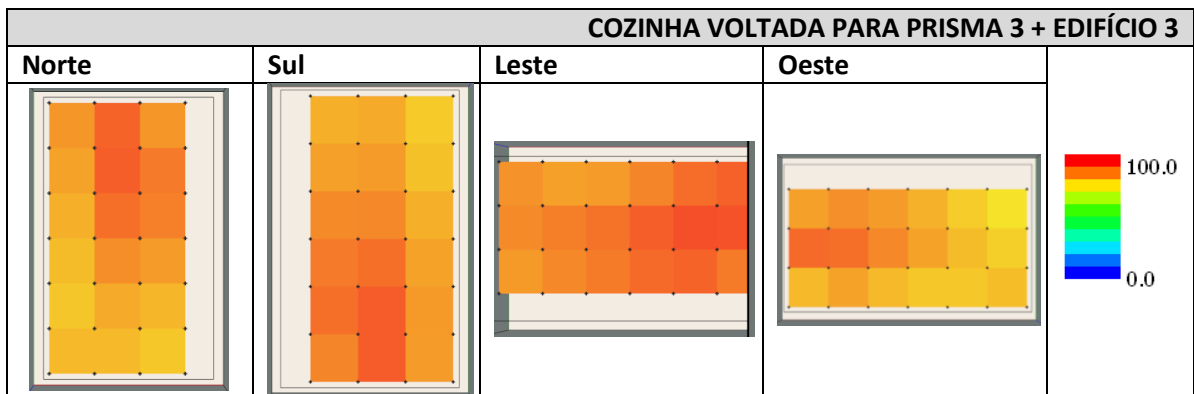
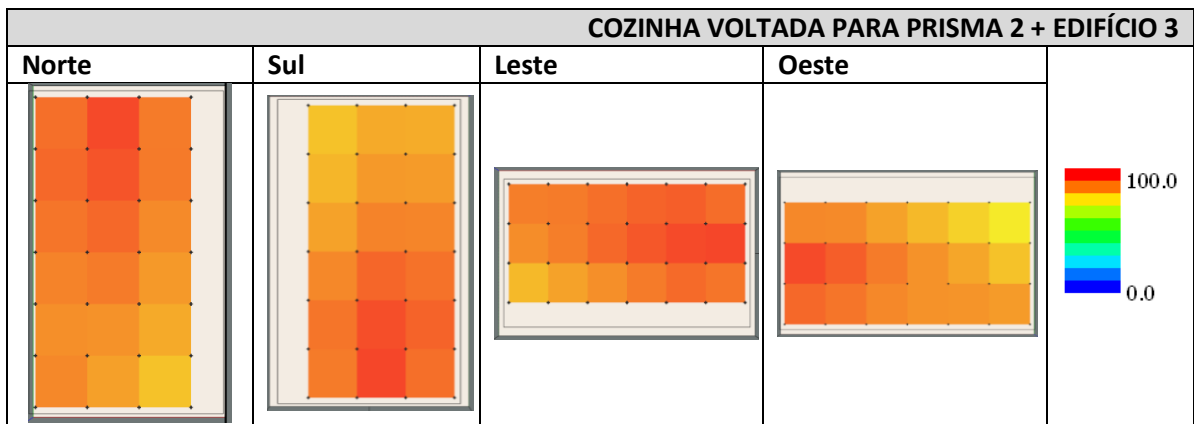
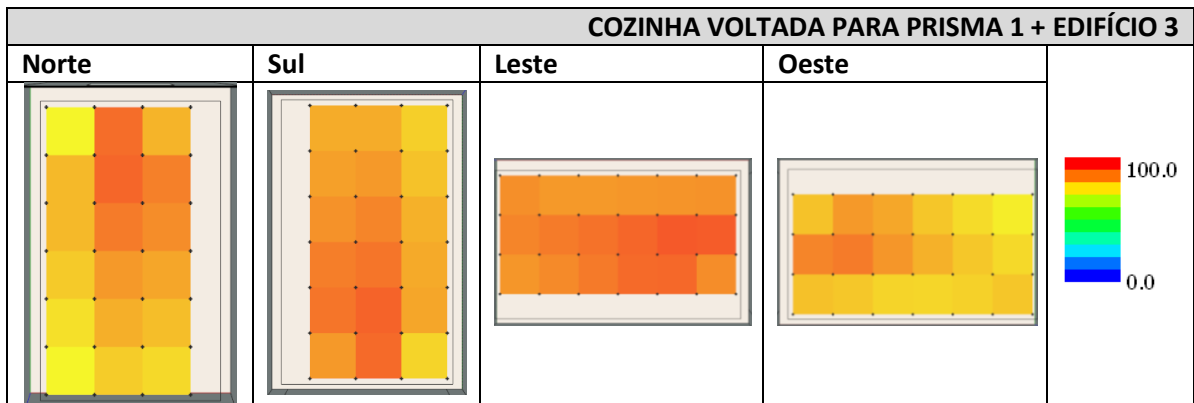
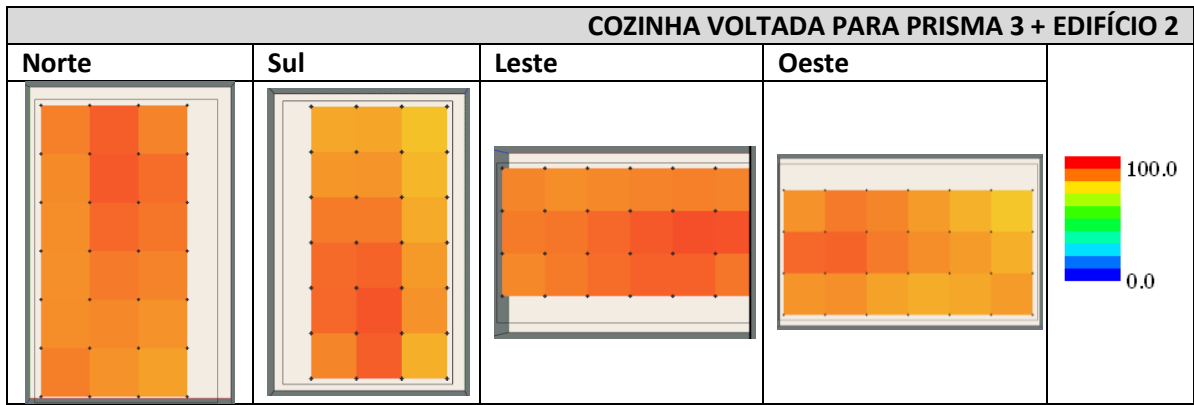
Autonomia de luz natural: 100lux

SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/8 DA ÁREA DE PISO









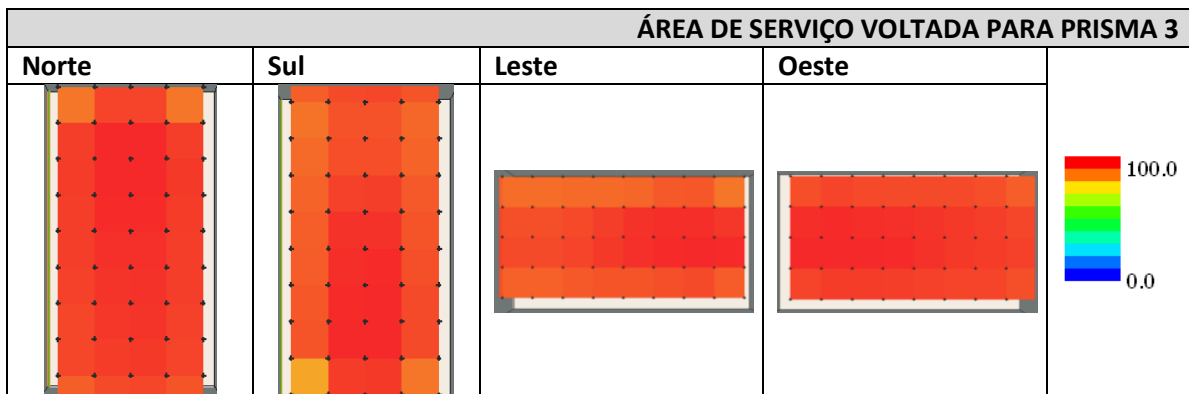
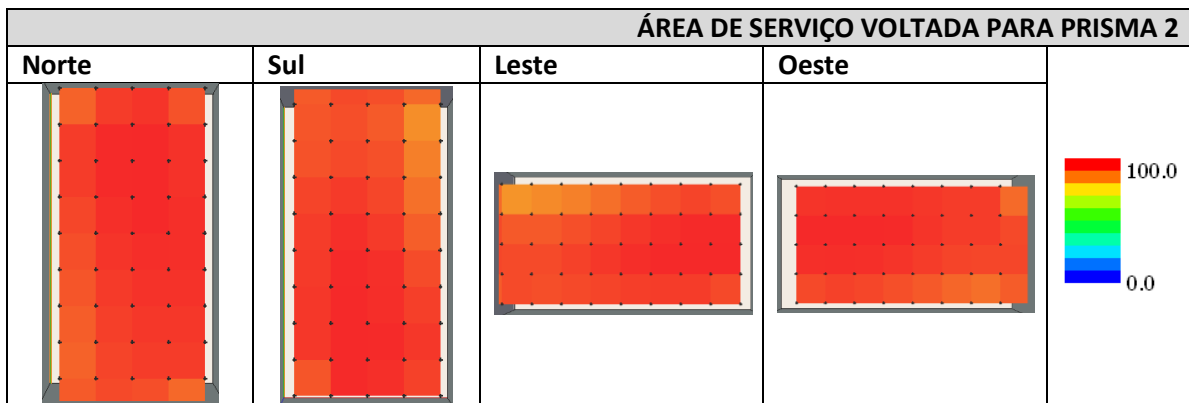
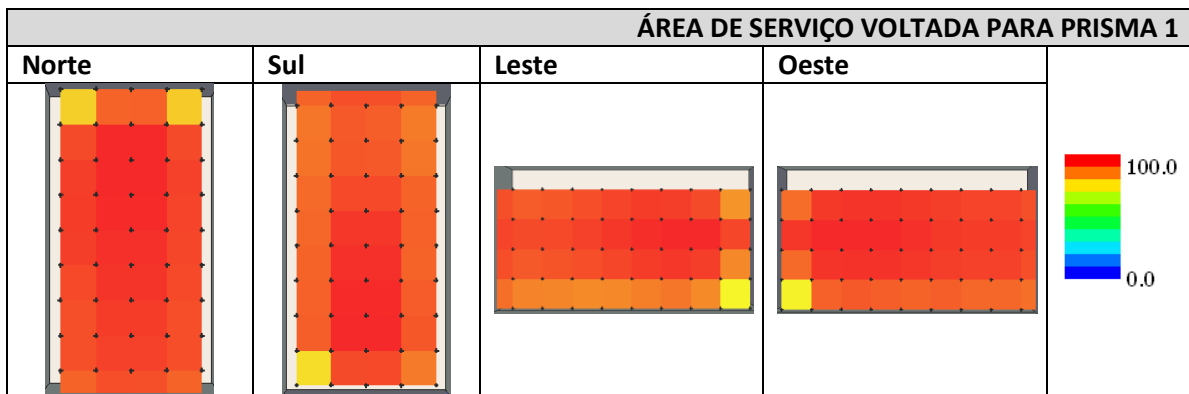
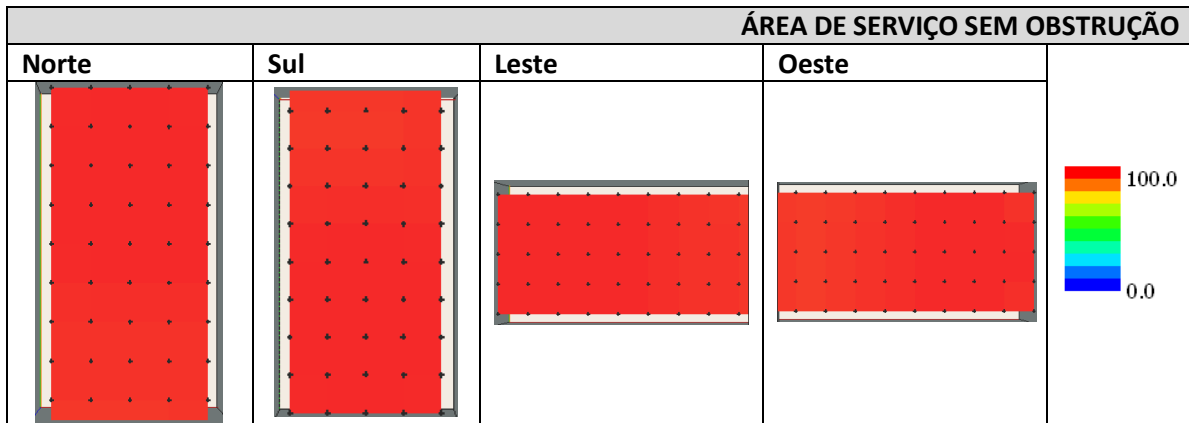
ANEXO 4

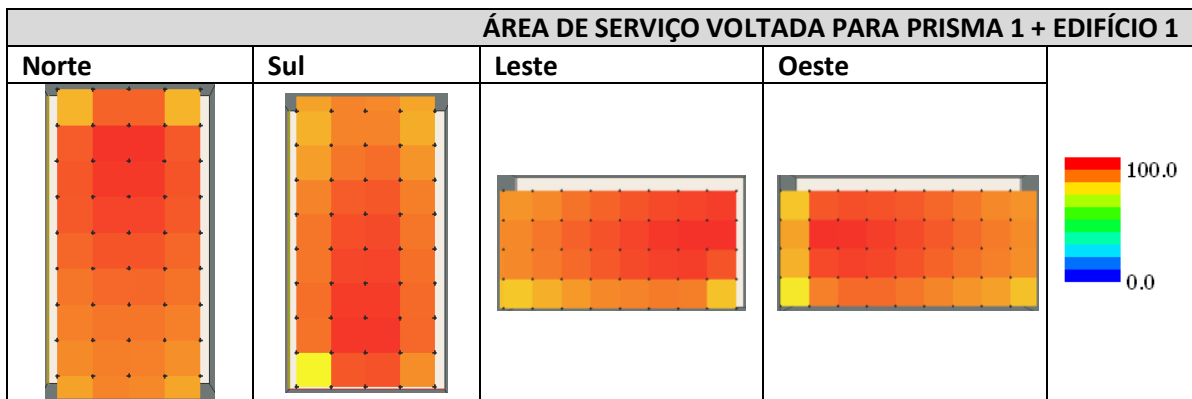
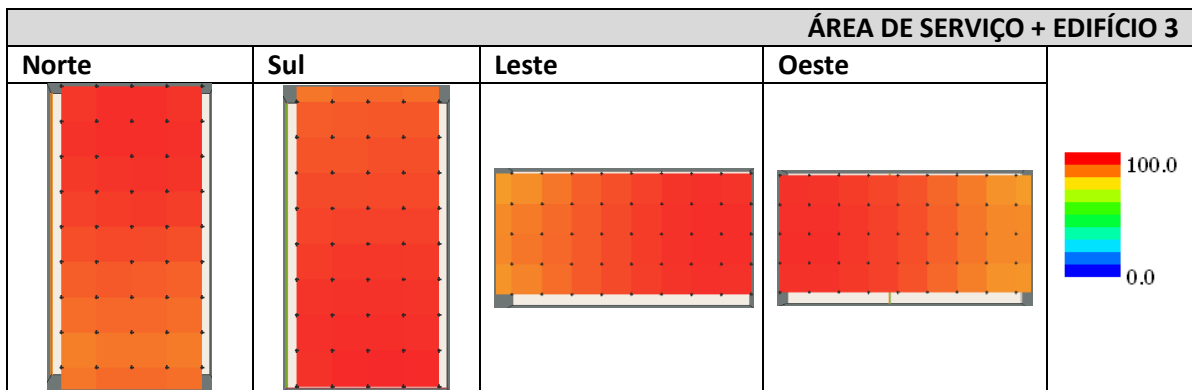
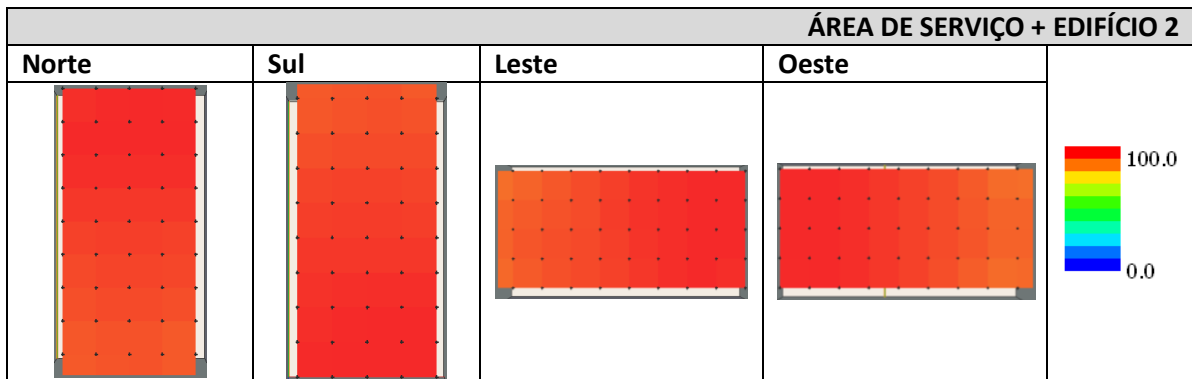
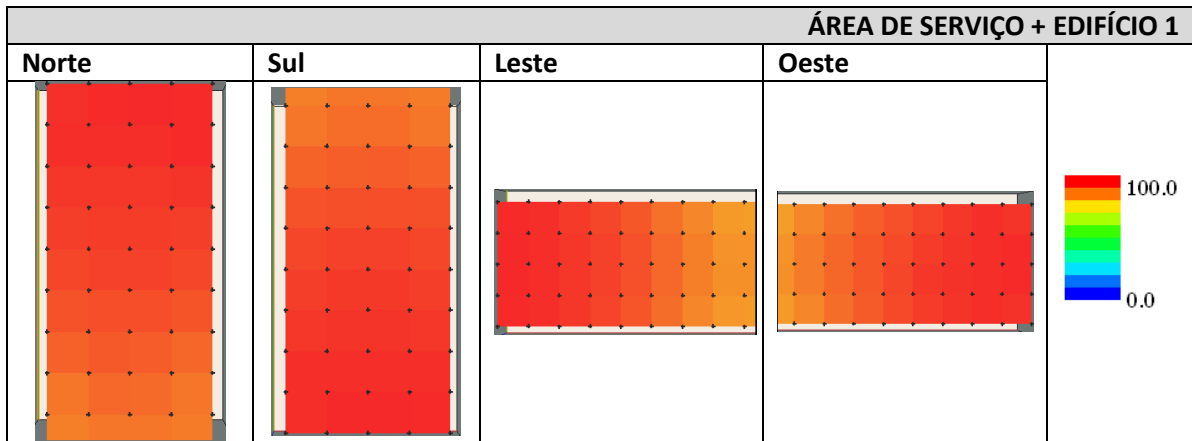
Resultados para ÁREA DE SERVIÇO

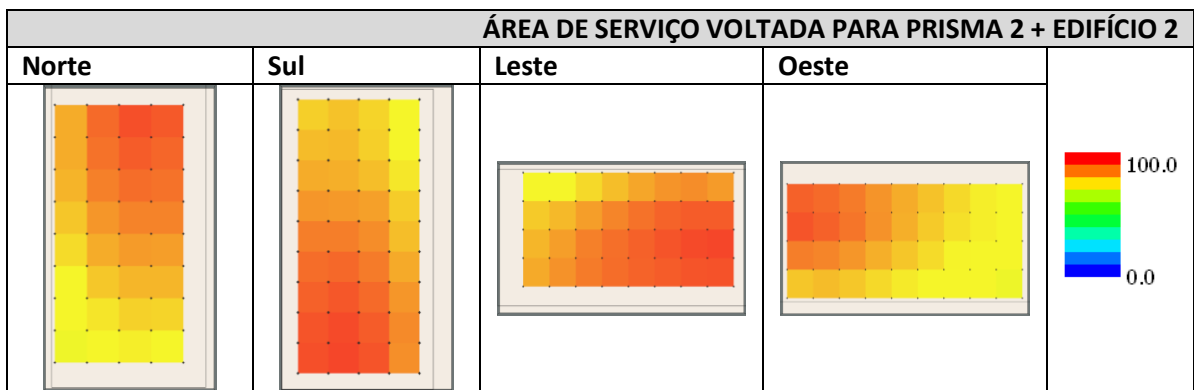
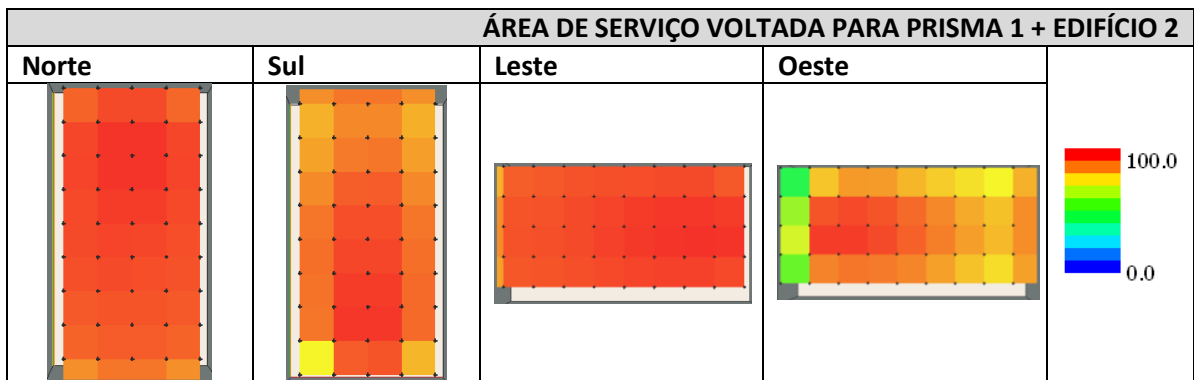
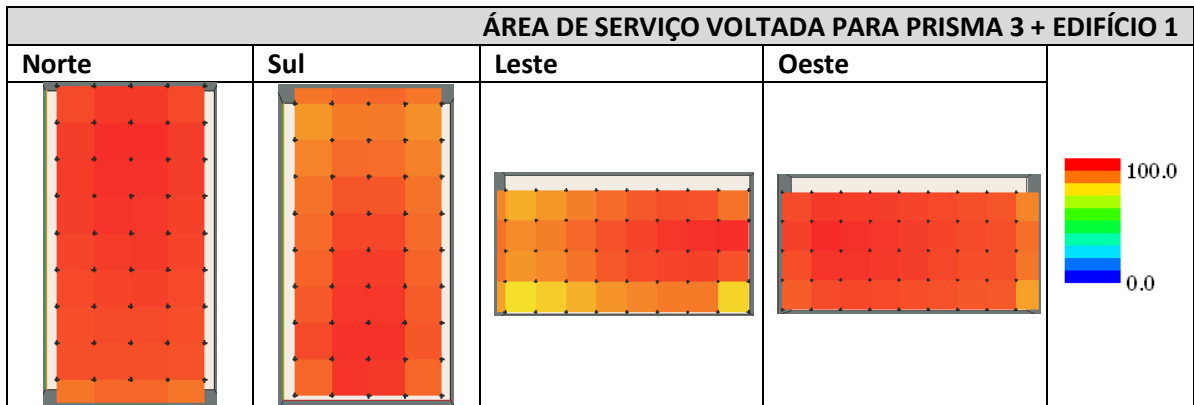
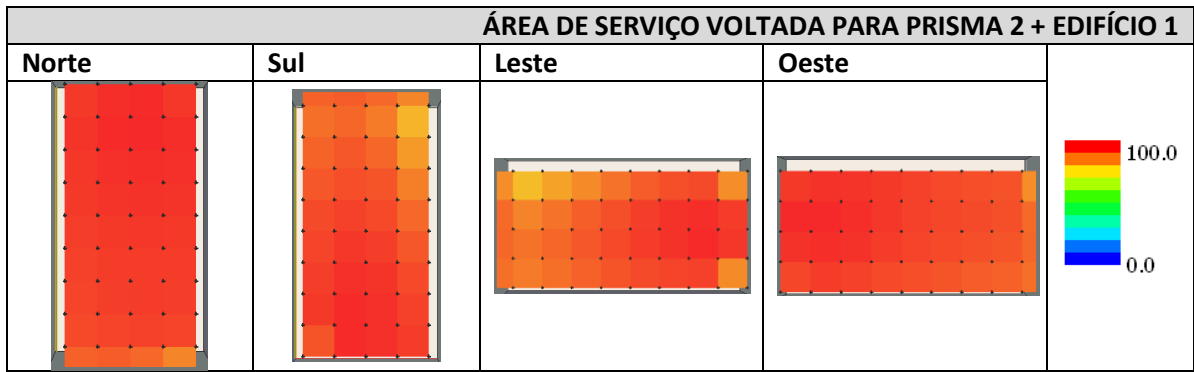
Imagens geradas pelas simulações

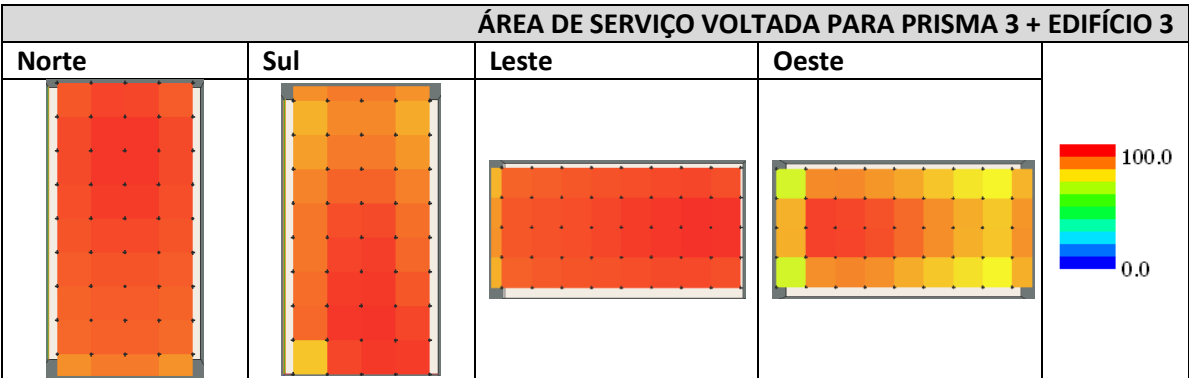
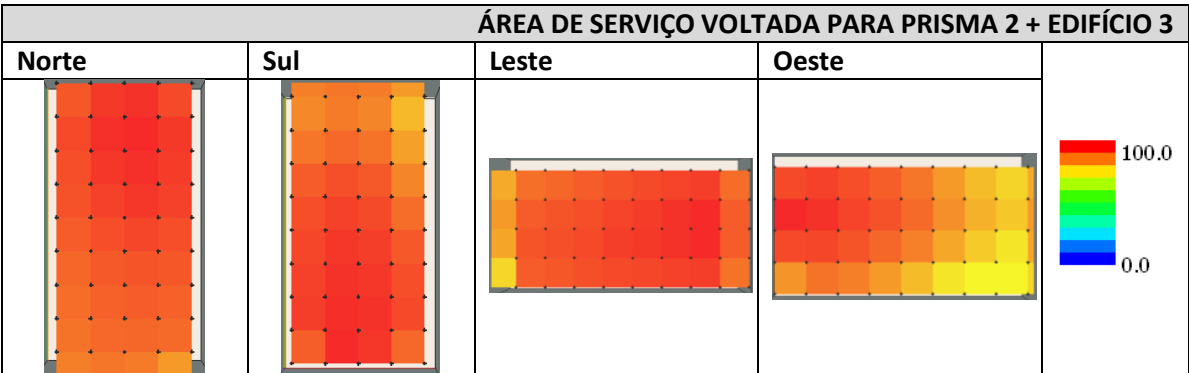
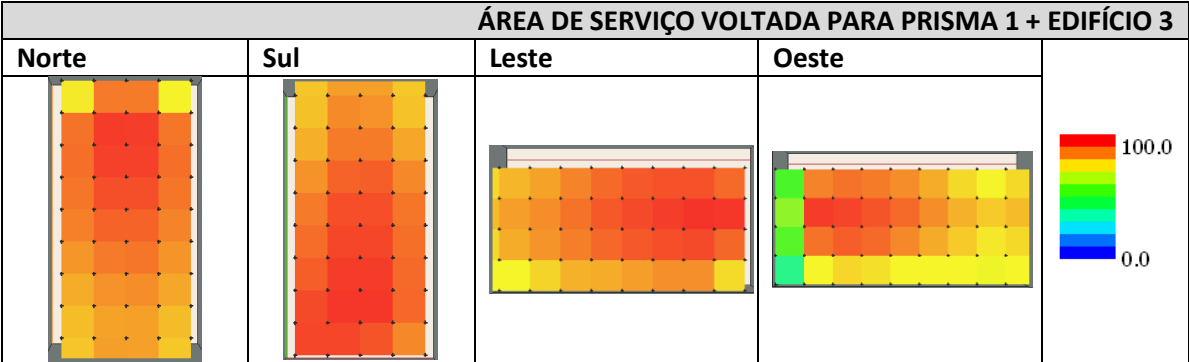
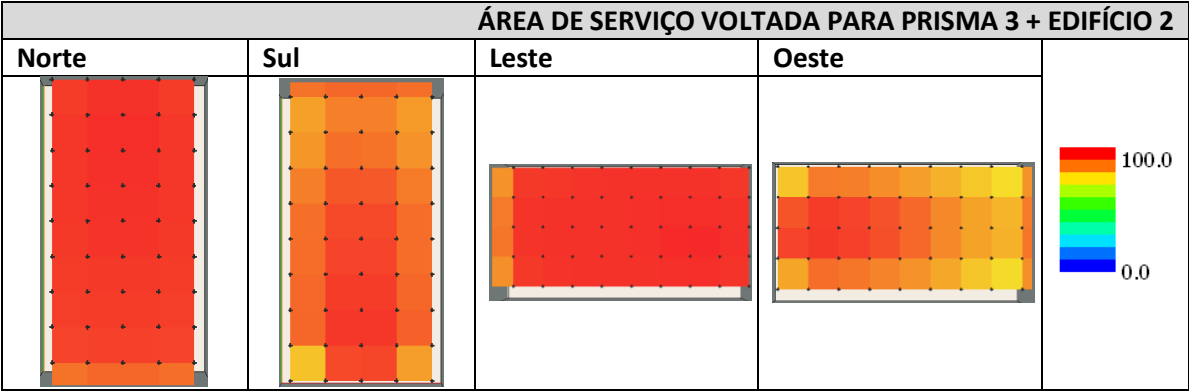
Autonomia de luz natural: 100lux

SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/8 DA ÁREA DE PISO







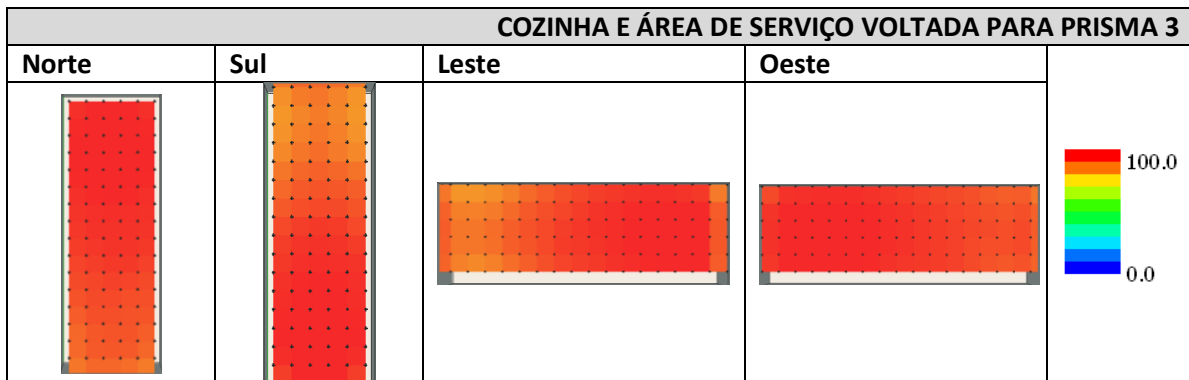
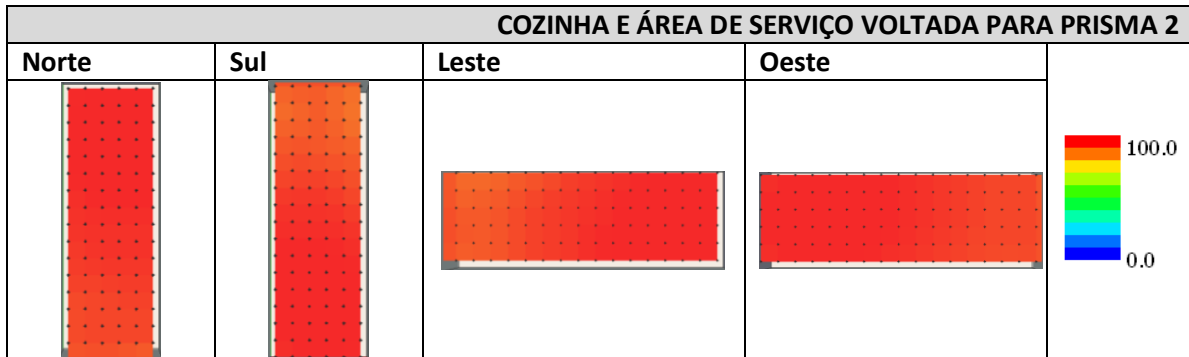
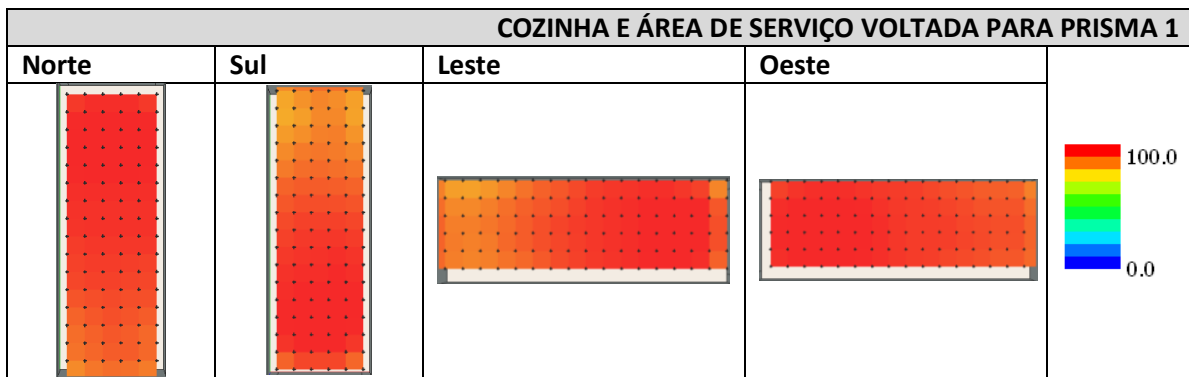
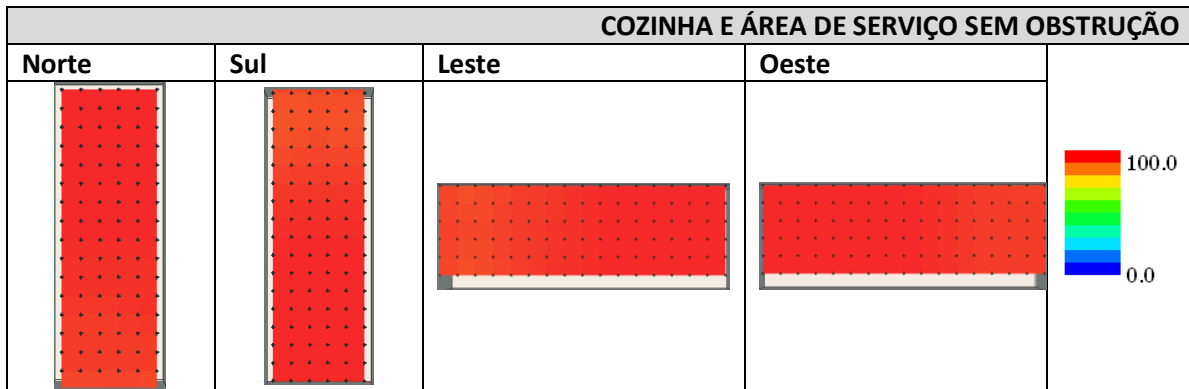


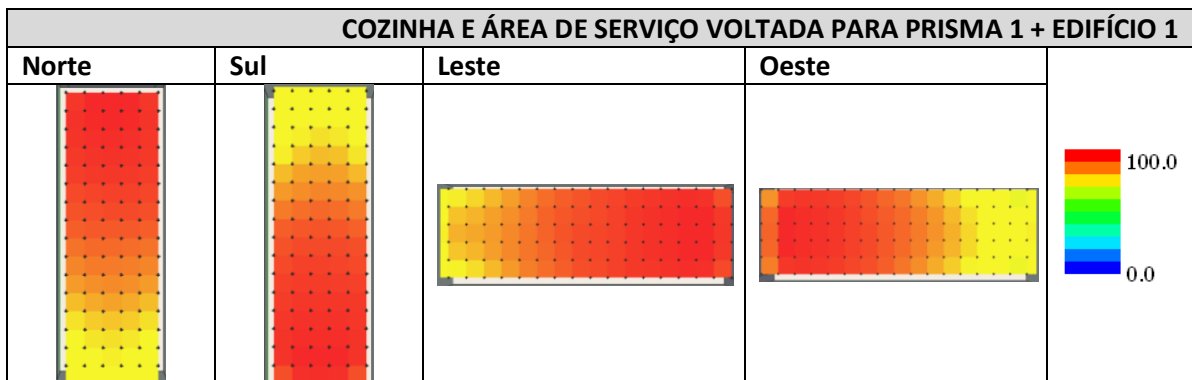
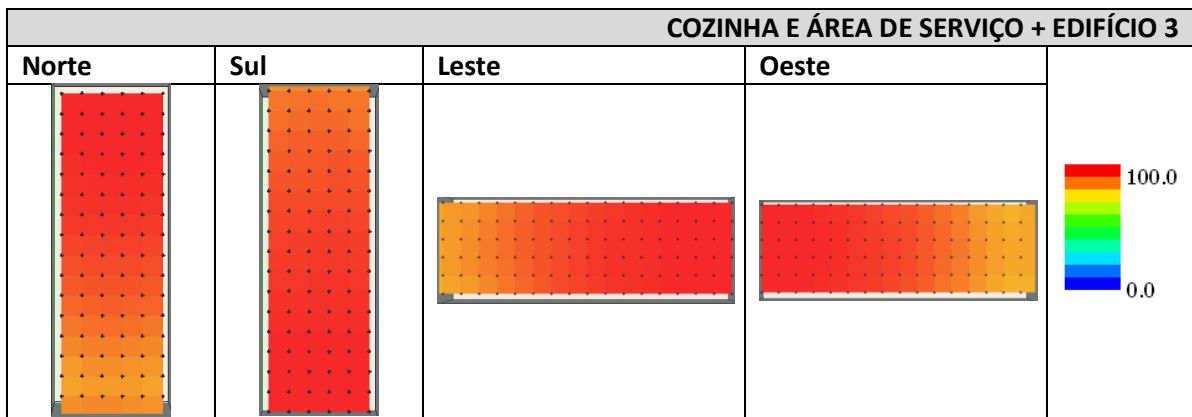
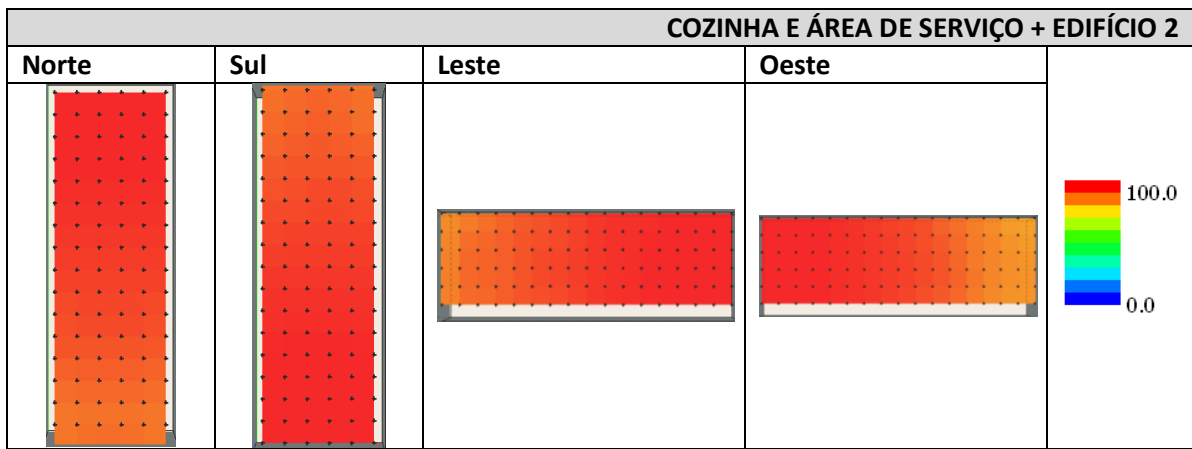
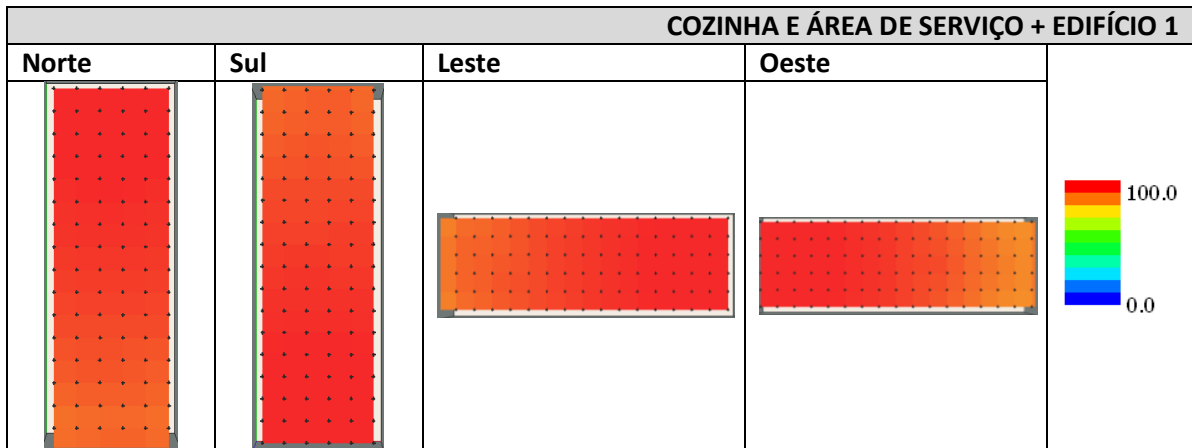
ANEXO 5

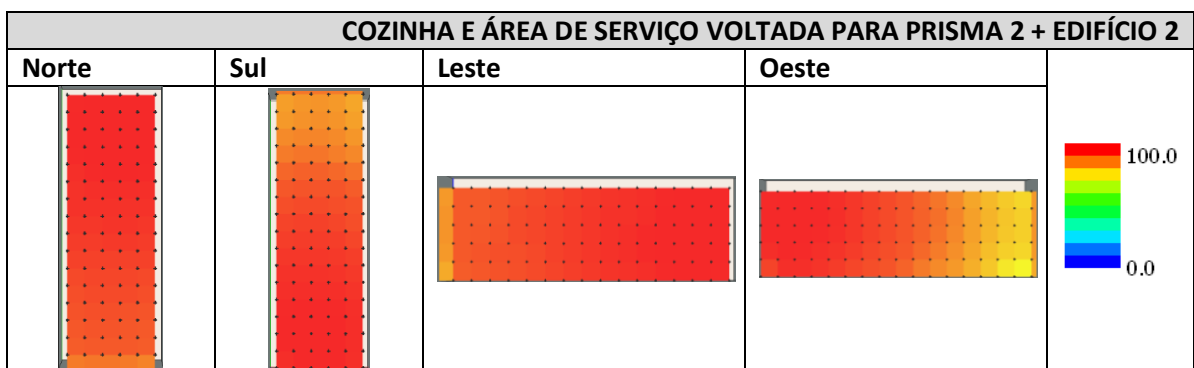
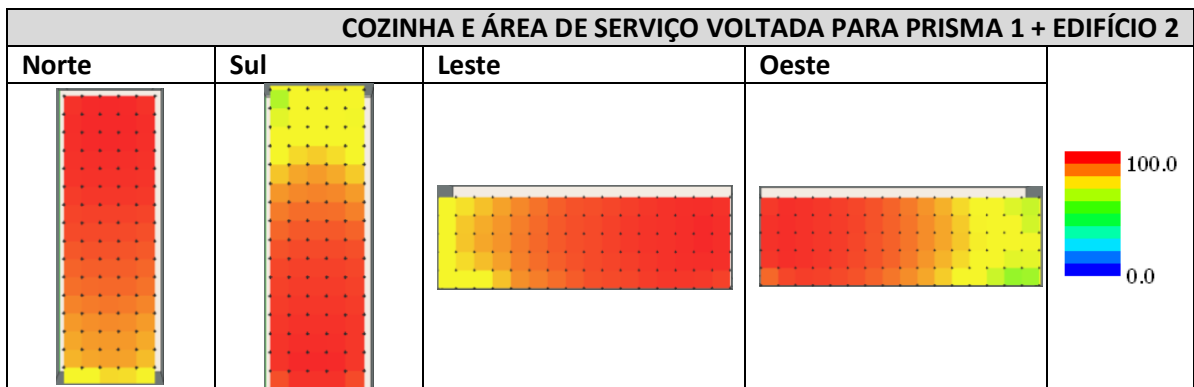
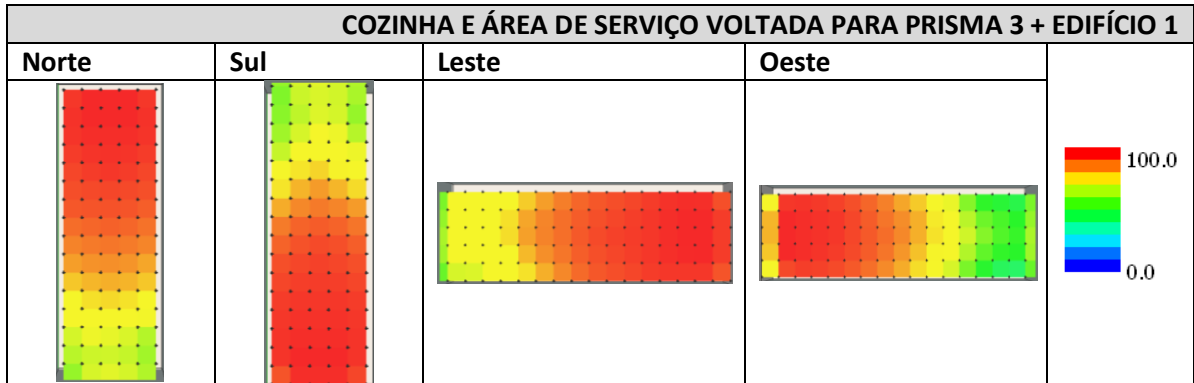
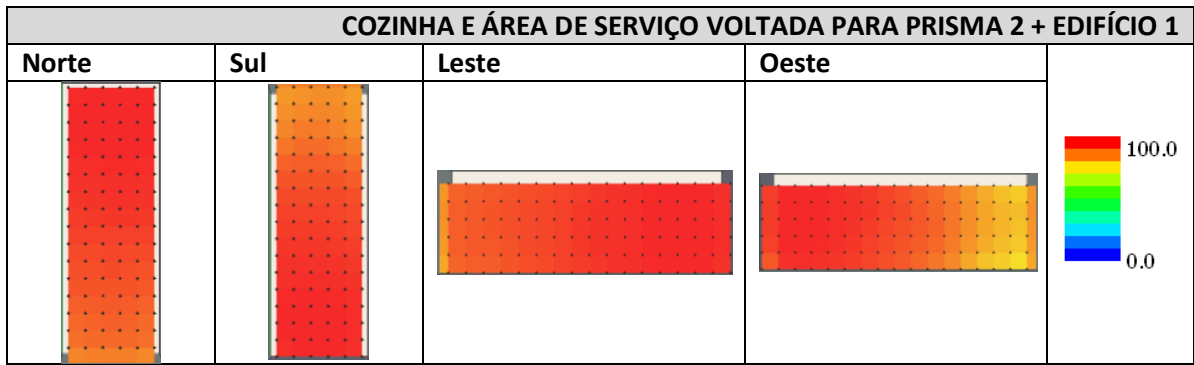
Resultados para COZINHA COM ÁREA DE SERVIÇO

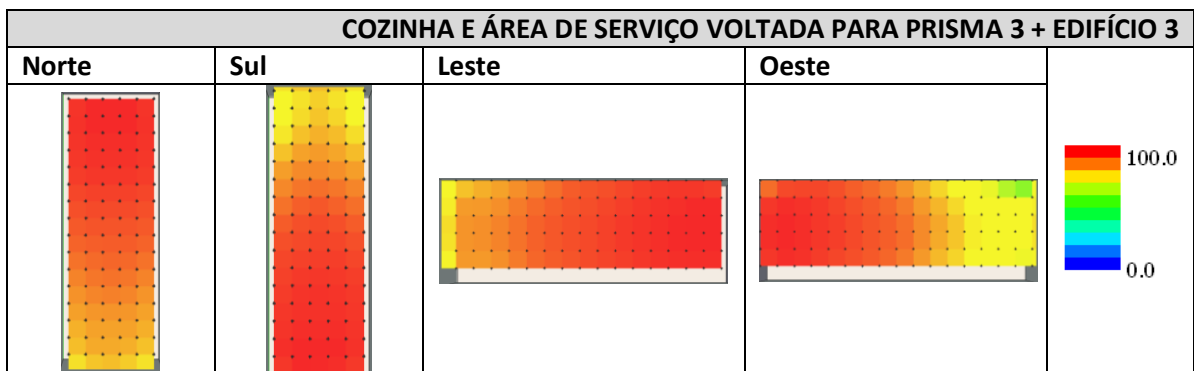
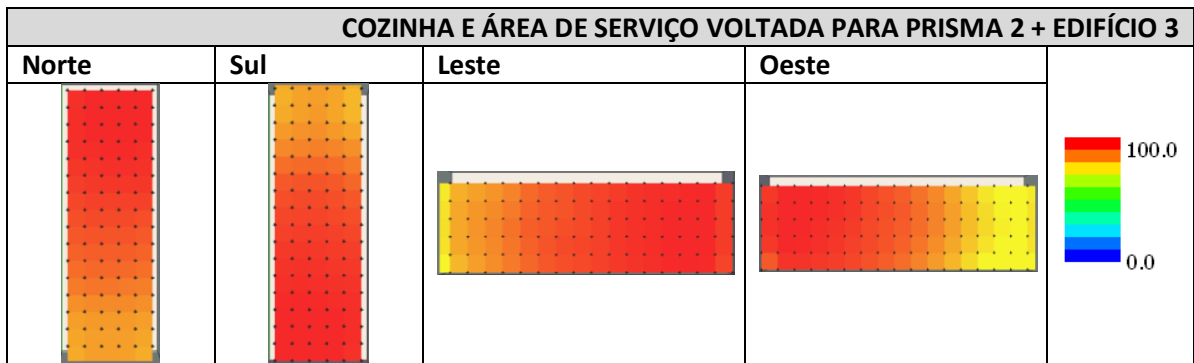
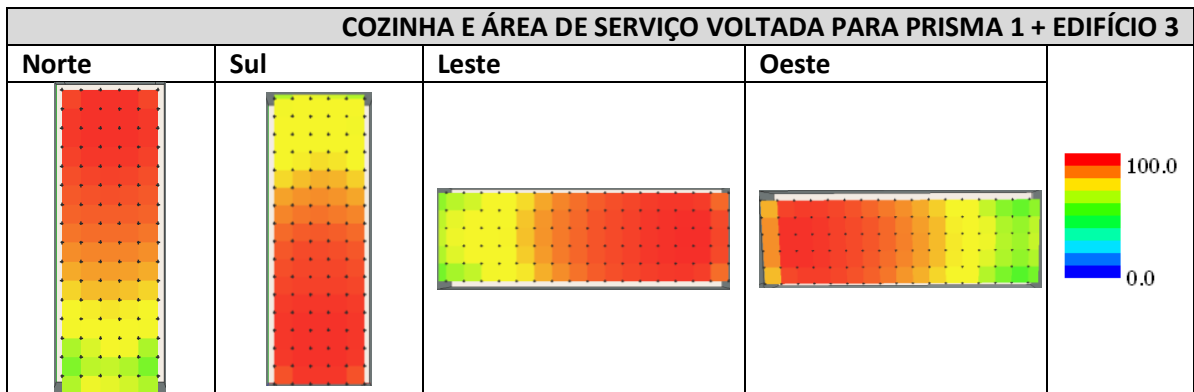
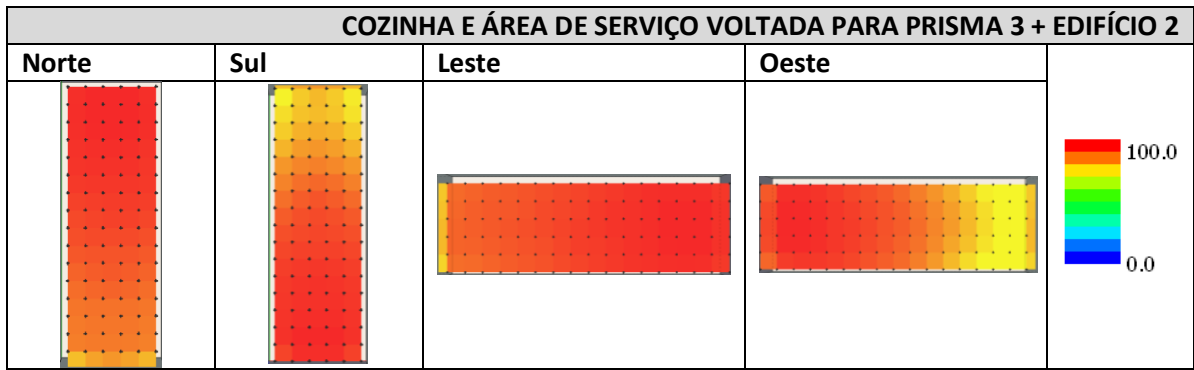
**Imagens geradas pelas simulações
Autonomia de luz natural: 100lux**

SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/8 DA ÁREA DE PISO







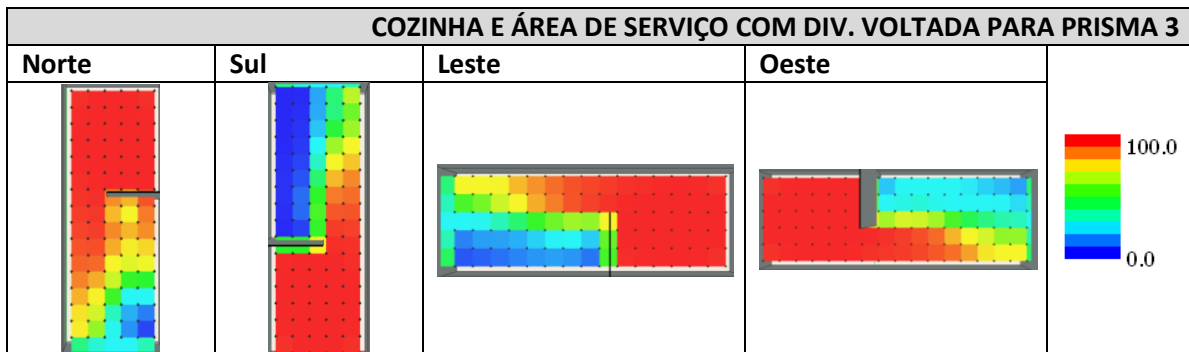
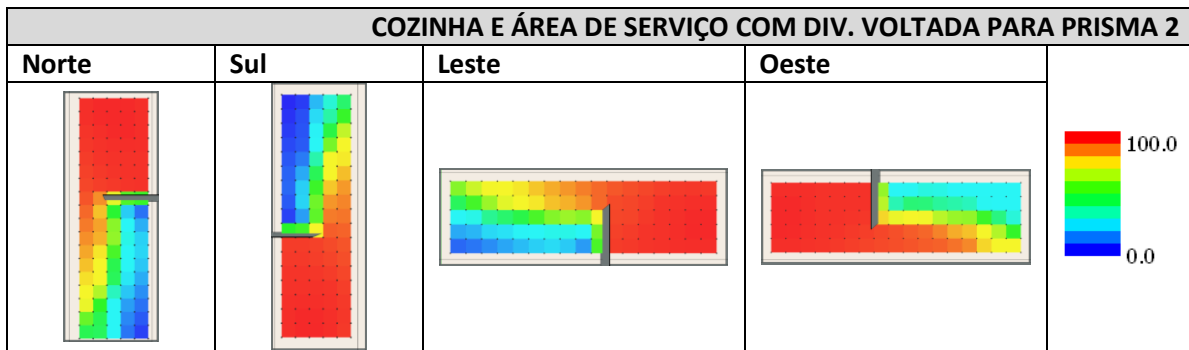
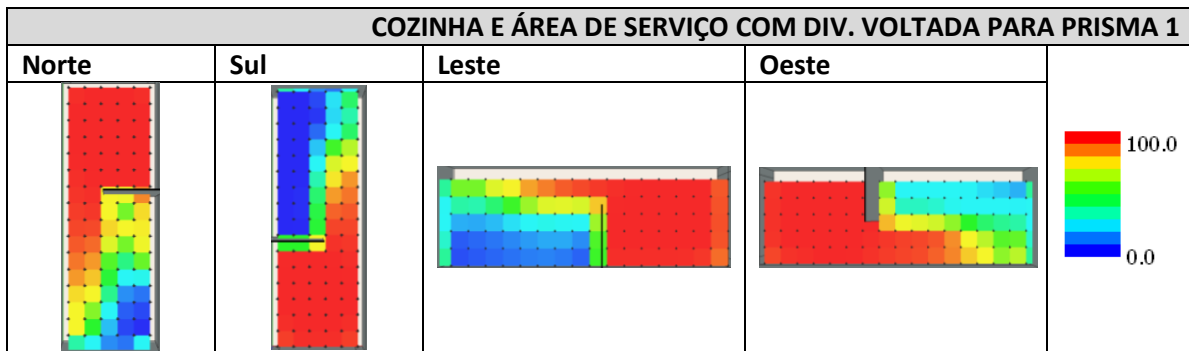
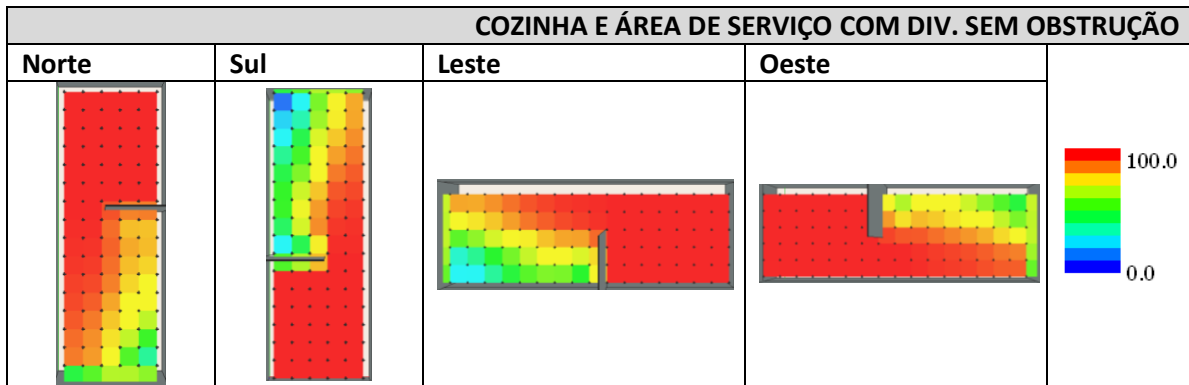


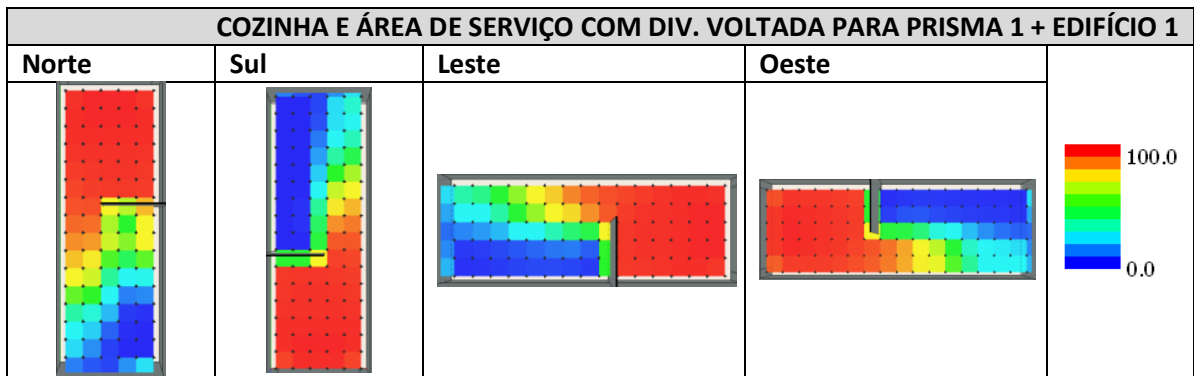
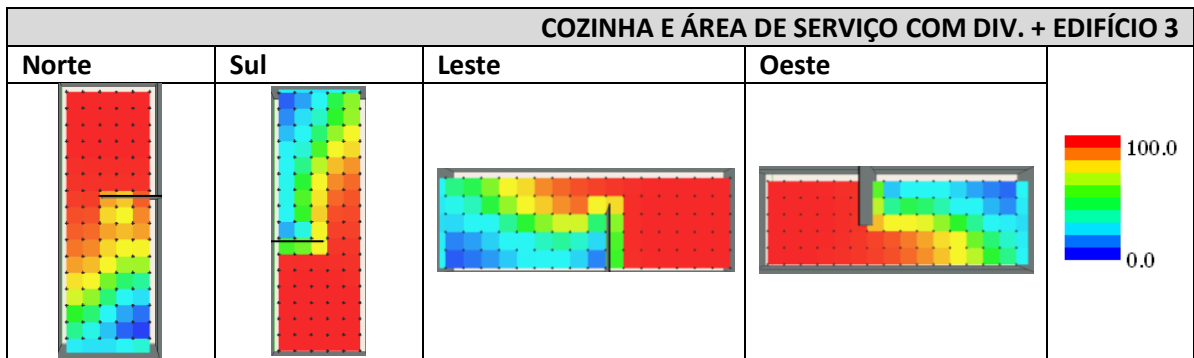
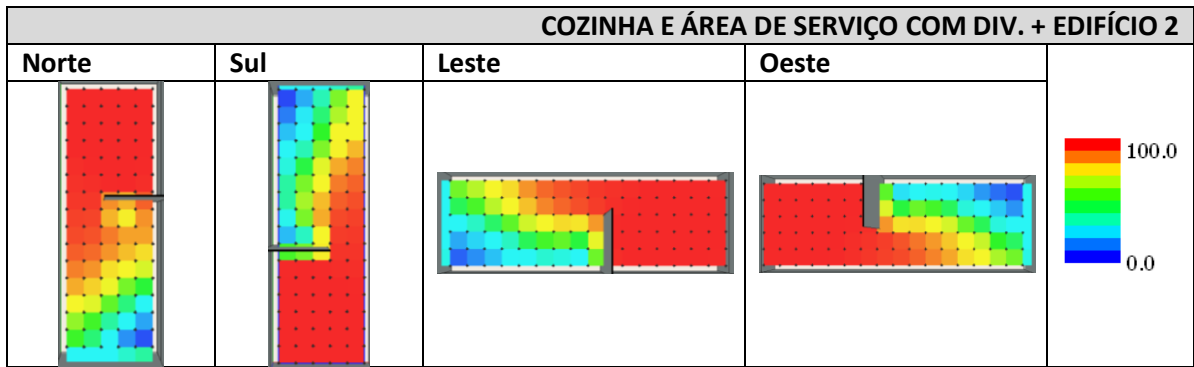
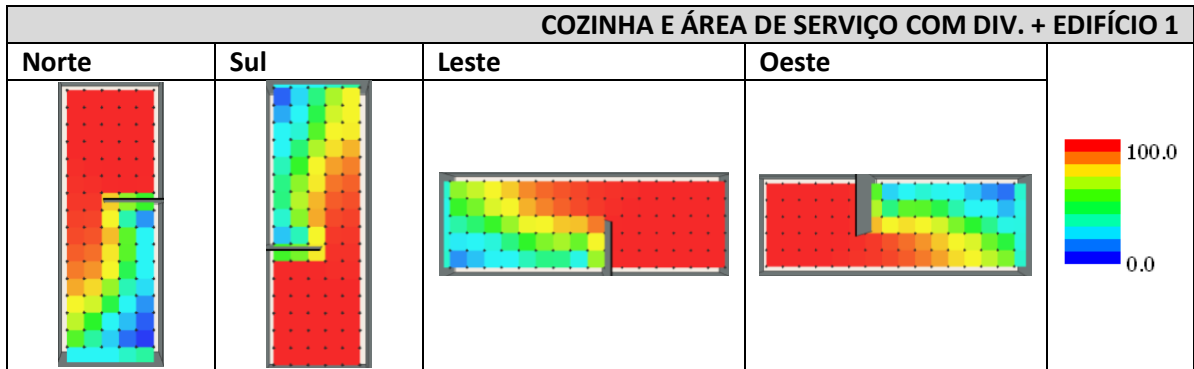
ANEXO 6

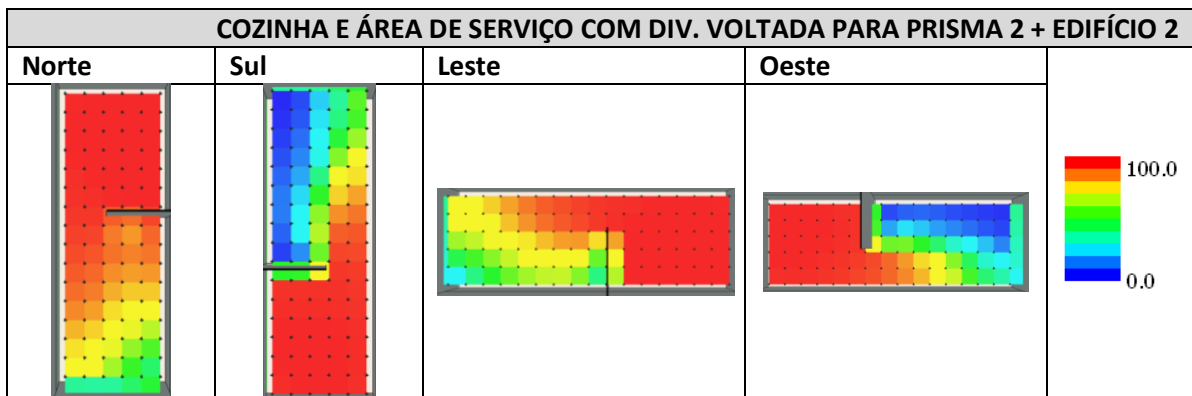
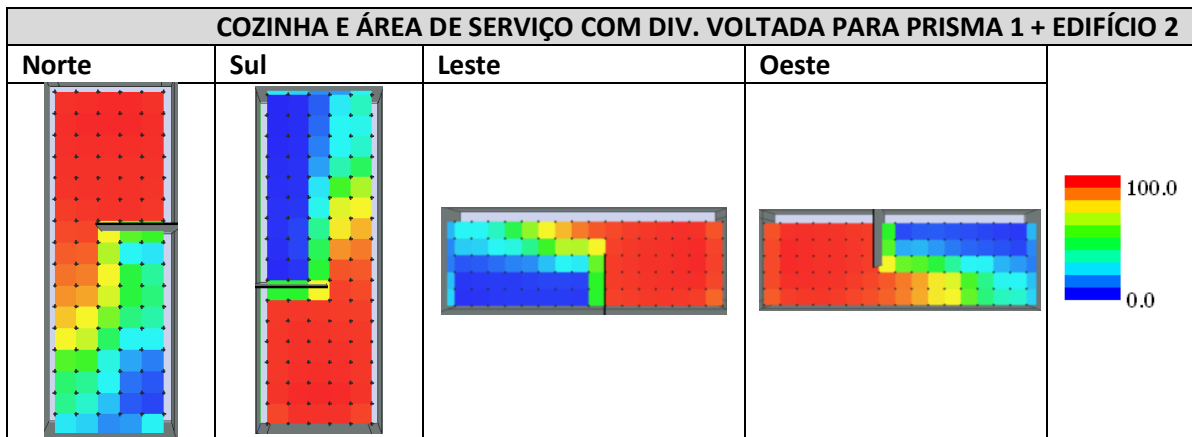
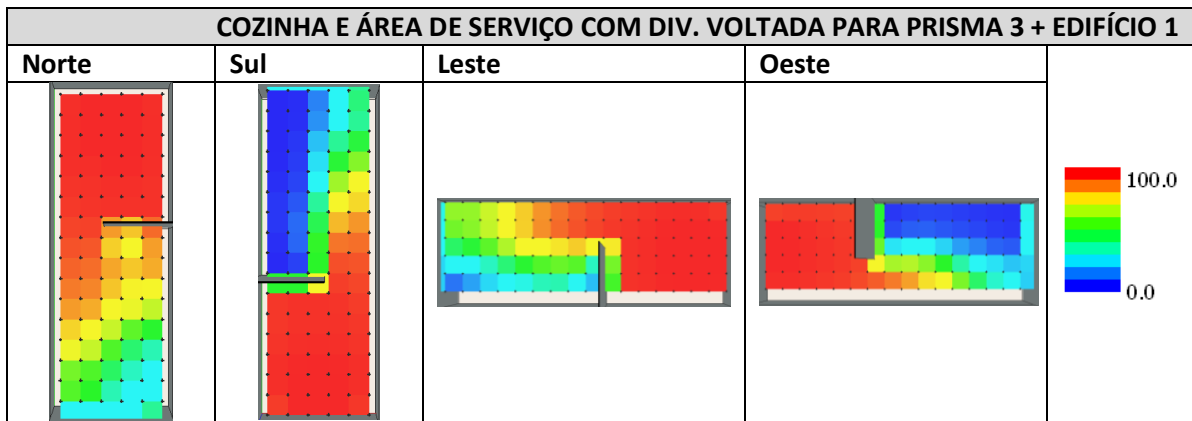
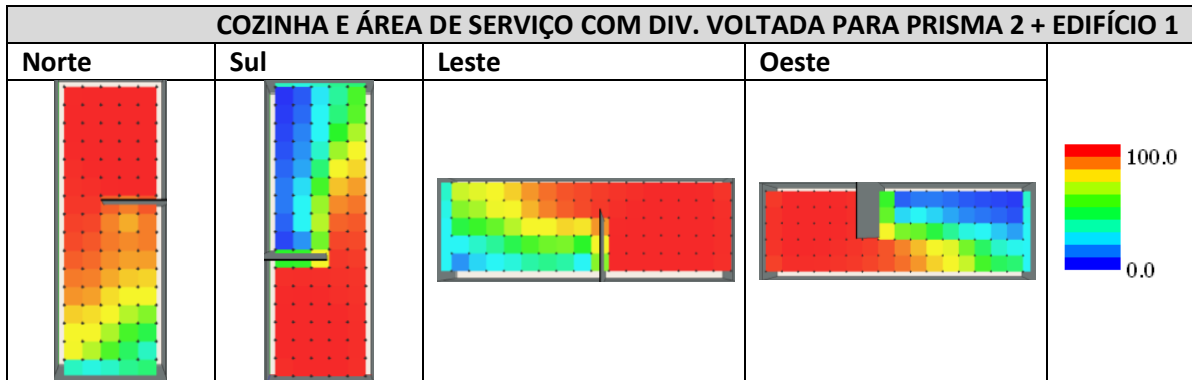
Resultados para COZINHA COM ÁREA DE SERVIÇO + DIVISÓRIA

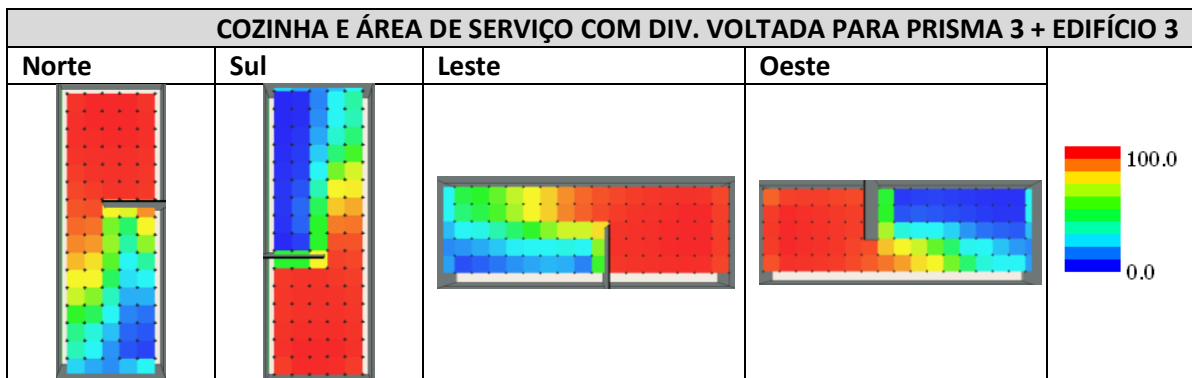
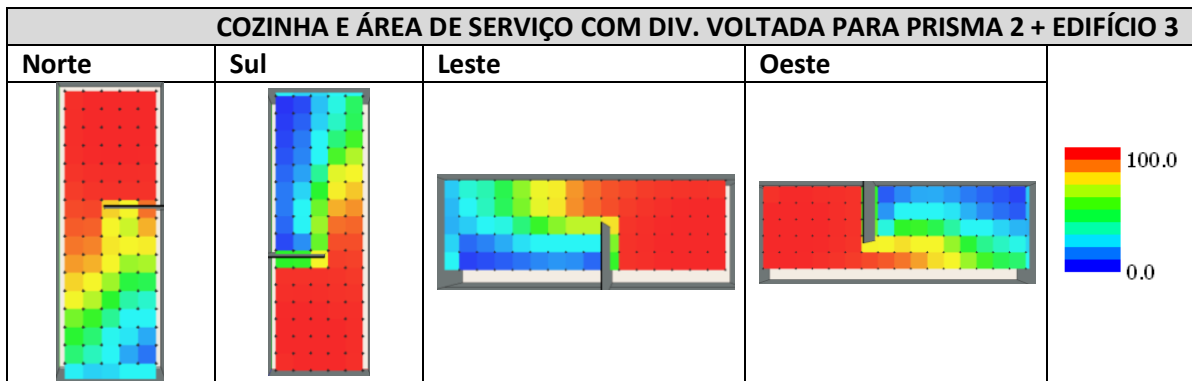
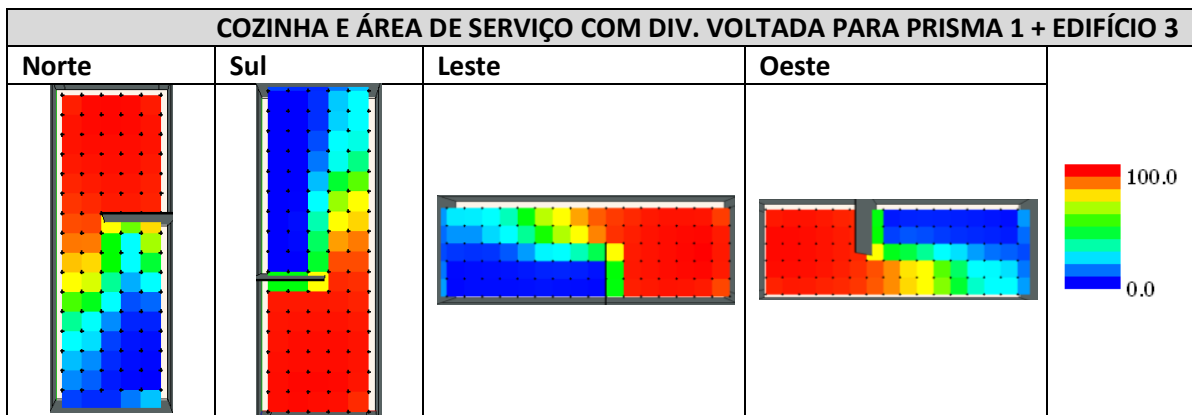
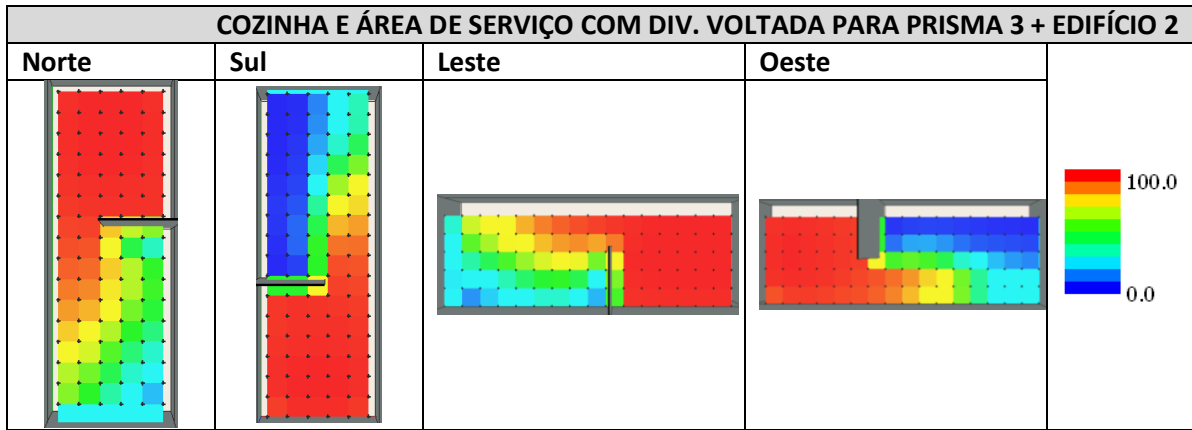
**Imagens geradas pelas simulações
Autonomia de luz natural: 100lux**

SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/8 DA ÁREA DE PISO









SIMULAÇÕES REALIZADAS COM ABERTURA DE 1/6 DA ÁREA DE PISO

Resultado das simulações para os modelos de COZINHA COM ÁREA DE SERVIÇO + DIVISÓRIA para aqueles que não atenderam o critério de autonomia com abertura de 1/8 do piso

